



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria  
de Manresa



# GENERACIÓ DE BIOGÀS I BIO-HIDROGEN A PARTIR DE FEMS APLICAT A UN CAS REAL

---

## Memòria

---

Autor: **Laura De Oliveira Leiva**

Tutor: Maria Montserrat Solé Sardans i Antonio David Dorado Castaño

Titulació: Màster Universitari en Enginyeria dels Recursos Naturals

*Manresa, Octubre de 2016*

Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Manresa



## Agraïments

Vull agrair la col·laboració de totes aquelles persones i institucions que han fet possible la realització d'aquest treball.

En primer lloc, als meus tutors del Treball de Final de Màster, Montserrat Soler i Toni Dorado, per la seva orientació constant i ajuda tècnica, que han estat essencials. Per confiar en mi per la realització d'aquesta, a més a més pel seu interès i revisió durant tot el procés de realització.

En segon lloc, a tots aquells que d'una manera o altra m'han ajudat, encara que el seu nom no figuri de forma explícita en aquestes línies; sense ells tampoc hauria estat possible.



## Resum

Aquest treball té com a objectiu analitzar dos biocombustibles generats per digestió anaeròbia, el biogàs i el biohidrogen, com a fonts alternatives d'energia. S'analitza la viabilitat d'aquests combustibles a partir de l'aplicació d'un sistema de generació de biogàs a partir de dejeccions animals en una explotació ramadera, Vila-Roger, situada en la comarca d'Osona. Com a punt de partida s'estudia quina quantitat de dejeccions es produeix a l'explotació, tant de fems com de purins.

A partir del valor total de dejeccions es plantegen tres hipòtesis: la utilització només de fems o de purins, o bé la barreja dels dos, amb l'objectiu d'analitzar diferents escenaris. El primer pas és estudiar la qualitat de la matèria primera proposada per a la producció de biogàs, mitjançant la relació C/N, ja que és la que dirà si la matèria primera és apta o no per la producció del biogàs. Un cop analitzada aquesta relació s'estudia quina quantitat de biogàs es produeix per a cada situació plantejada anteriorment. Finalment aquestes dades es comparen amb un simulador i es conclou la viabilitat econòmica i d'instal·lació de la planta.

Com a resultat d'aquest anàlisi s'observa que cap dels casos proposats en aquest treball seria viable, ja que el temps d'amortització seria superior a la vida útil de la planta. Això és degut a que la quantitat de bestiar no és suficient per a la instal·lació d'una planta, tot i que el biogàs generat podria abastirà tota la granja.



## Abstract

This thesis aims to analyse two biofuels generated by anaerobic digestion, biogas and bio-hydrogen as alternative energy sources. The feasibility of these fuels is being carefully analysed, by the implementation of a system to generate biogas, from animal manure on a farm, Vila-Roger, situated in Osona. The study begins by determining how much waste is produced in the operation of both manure and slurry.

From the total value of manure three hypotheses occurred: only using manure or slurry, or a mixture of both, with the purpose of analysing different scenarios. The first step is to study the quality of the raw material proposed for biogas production through the C / N ratio, which is the raw material that will tell if it is suitable or it is not, for the production of biogas. Once this relationship is being analysed, studies are taken to determine how much biogas is produced for each situation posed previously. Finally, these data is being compared with a simulator and the study concludes with a valuation of the economic viability and installation of the plant.

As a result of this analysis it is noticeable that none of the cases proposed in this thesis would be possible because the payback period would exceed the useful life of the plant. This is because the number of cattle is not enough for the installation of a productive plant, however the biogas produced could provide the right supply of energy for the entire farm.





## Índex

1.	Introducció i objectius.....	5
2.	Fems i purins .....	7
2.1.	Problemàtica .....	8
2.2.	Producció a Espanya.....	9
3.	Tractament de fems i purins .....	13
3.1.	Tipus de tractament .....	14
3.1.1.	Basses .....	14
3.1.2.	Separació de fases sòlid-líquid .....	15
3.1.3.	Compostatge .....	16
3.1.4.	Nitrificació –Desnitrificació (DND) .....	17
3.1.5.	Evaporació i assecat .....	18
3.1.6.	Stripping i absorció.....	19
3.1.7.	Digestió aeròbia .....	20
3.1.8.	Digestió anaeròbia .....	21
3.2.	Tractaments combinats.....	21
3.2.1.	Combinació per l’eliminació del nitrogen .....	21
3.2.2.	Combinació per la reducció del volum per concentració tèrmica .....	22
4.	Digestió anaeròbia.....	25
4.1.	Digestió anaeròbia destinada a la producció de biogàs .....	25
4.1.1.	Biogàs .....	25
4.1.2.	Digestió anaeròbia per la producció de biogàs .....	26
4.1.3.	Factors determinants en la matèria primera .....	28
4.1.4.	Biodigestors.....	32
4.2.	Digestió anaeròbia destinada a la producció de biohidrogen.....	41
4.2.1.	Biohidrogen .....	41
4.2.2.	Digestió anaeròbia per la producció de biohidrogen .....	42
5.	Producció de biogàs a partir dels fems i purins .....	45
5.1.	Situació a Espanya .....	48
5.2.	Plantes de biogàs a partir de dejeccions a Espanya .....	50
6.	Producció de biohidrogen a partir de fems i purins.....	53
7.	Cas d’estudi .....	57
7.1.	Situació .....	57

7.2.	Capacitat de la granja d'estudi.....	58
7.3.	Utilització actual dels fems i purins.....	63
7.4.	Nova utilització pels fems i purins: producció de biogàs .....	64
7.4.1.	Característiques de l'explotació ramadera .....	65
7.4.2.	Necessitats energètiques de les granges .....	66
7.4.3.	Plantejament d'hipòtesis .....	69
7.4.5.	Estudi cost i viabilitat de la instal·lació.....	77
7.	Conclusions .....	89
8.	Referències.....	93

## Annexes

**Annex 1.** “Informe tècnic sobre el pla de gestió de les dejeccions de Vila-Roger”

Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural  
de la Generalitat de Catalunya.

**Annex 2.** “Informe de viabilitat Planta de Biogàs” - SmallBIOGAS



## 1. Introducció i objectius

Els residus constitueixen un problema ambiental, social i econòmic urgent. El creixent consum i el desenvolupament de l'economia segueixen generant grans quantitats de residus, que requereixen un major esforç de reducció i prevenció. Els residus es consideraven dispensables en el passat, però cada vegada més es reconeix els seu potencial com a recurs, tal com reflecteix la tendència dels sistemes de gestió de residus en substituir l'eliminació pel reciclat i la valorització (EEA, 2009).

Segons com es gestionen els residus aquests poden afectar tant a la salut humana com al medi ambient a través de les emissions a l'atmosfera, al sòl, a les aigües superficials i subterrànies. Però també poden representar una pèrdua de recursos materials (metalls o altres materials reciclables) i pèrdua com a font d'energia. Una bona gestió dels residus pot ser beneficiosa per a la salut pública i per al medi ambient (EEA, 2009).

Espanya és un dels principals sectors ramaders de la U.E. generant milions de m<sup>3</sup> de fems i purins cada any (Futur agrari, 2012), molts dels quals s'aprofiten en la agricultura com adob, però no totes aquestes dejeccions poden utilitzar-se en la terra. A part de generar males olors i emissions de gasos d'efecte hivernacles l'abocament d'un excés de purins dona origen a greus contaminacions del sòl, de les aigües superficials i subàlvies, causant greus problemes ambientals en zones d'alta concentració ramadera (Nixon et al., 2000). Per aquest motiu és important gestionar correctament els excedents.

A banda d'una gestió adequada de les dejeccions animals en les explotacions ramaderes, aquestes tenen un gran potencial com a recurs energètic, ja que reuneixen característiques idònies per a la producció d'energia. Aquest residu es converteix en un recurs de gran valor actualment, ja que no és un secret que la problemàtica energètica provinent de la dependència dels recursos fòssils va en augment i desperta gran preocupació a una societat molt acostumada a les facilitats del món modern.

Com a conseqüència d'aquesta problemàtica els treballs de recerca sobre la cerca de fonts d'energia alternatives s'han incrementat de manera exponencial en els últims anys (Gómez et al., 2010). Des de sistemes més innovadors fins a sistemes molt més coneguts i estudiats, els processos biològics han guanyat un paper important en aquesta carrera de recerca de noves fonts energètiques.

En aquest projecte es proposa estudiar la generació de dos biocombustibles, el biogàs i el biohidrogen. El primer molt estudiat i conegut, en canvi aquest segon encara en fase d'investigació. Com a matèria prima s'utilitzaran les dejeccions animals del sector ramader. Es treballarà a fi d'aconseguir dos objectius:

En primer lloc conèixer el funcionament dels dos sistemes productors d'aquests biocombustibles. Per una banda analitzar l'extensió de l'aplicació del biogàs a Espanya i fins a quin punt aquest és accessible; i per l'altre banda avaluar la situació del sistema de producció de biohidrogen, a nivell de recerca, donat a que és una proposta que encara li queda molt camí per recórrer.

En segon lloc plantejar un cas real d'una granja situada en la comarca d'Osona a Catalunya, es vol conèixer la viabilitat de la instal·lació d'una planta de biogàs que fos capaç d'abastir tota la granja, de manera que ja no depengues de l'energia elèctrica de la xarxa. Tenint en compte una sèrie de punts claus com és la qualitat de matèria primera i el cost de la instal·lació.

## 2. Fems i purins

Es coneix com a fems i purins la mescla de dejeccions sòlides i líquides amb restes d'aliments, aigua dels abeuradors, aigües de rentat i, en ocasions, aigua de pluja. La diferència entre fems i purins està que els fems són una barreja més o menys sòlida i els purins són una mescla líquida. Aquestes dejeccions tenen les següents característiques(Iberia Engineering, 2014):

- Material **NO exempt de patògens**.
- **Males Olors** (volatilització de compostos sofrats i nitrogenats).
- Neutre/Bàsic i d'**alta alcalinitat**.
- Elevat contingut d'**humitat**(MS < 10%).
- **Continguts importants de nitrogen** i en menor mesura fòsfor, potassi i calci.
- Posseeix quantitats importants d'hidrats de carboni, lípids, aminoàcids, proteïnes, **urea i compostos sofrats**.

Actualment s'utilitzen els fems i purins sovint com adob, ja que per una banda aporten matèria orgànica al sòl, suposant una millora a la seva estructura així com un augment de la capacitat de retenció d'aigua. Per l'altre banda, els fems són una font d'elements nutritius per a les plantes, bàsicament nitrogen (N), fòsfor (P) i potassi (K) (Iglesias, 1995).

La composició dels fems i purins pot ser molt variada (taula 2.1.), degut als diferents factors que influeixen, com pot ser el tipus de bestiar (d'acord amb l'espècie), la dieta de l'animal (depèn a que sigui destinat) fent canviar també continguts de N, P i K. Les condicions ambientals també condicionen les fems (com l'adició de l'aigua de la pluja) i per últim la duració i condicions d'emmagatzemament(Iglesias, 1995).

Taula 2.1. Producció i composició de diferents tipus de fems (Iglesias, 1995)									
Dejeccions	Producció	Matèria seca	Matèria orgànica	Nitrogen		Fòsfor		Potassi	
	Kg	g/kg	g/kg	g/kg	Kg	g/kg	Kg	g/kg	Kg
<sup>(1)</sup> Purins de boví	20.200	95	68	4,4	89	0,9	18	4,2	8,5
<sup>(2)</sup> Purins de porcí	1.600	80	63	7,0	11,2	2,1	3,4	3,3	5,30
<sup>(3)</sup> Purins de gallina	80	160	115	9,0	0,72	4,1	0,33	3,7	0,3
<sup>(3)</sup> Gallinassa	40	322	230	12,5	0,50	8,2	0,33	7,5	0,3
<sup>(4)</sup> Gallinassa	7	560	460	23,0	0,16	9,2	0,06	13,3	0,09
<sup>(5)</sup> Purins de vedells	2.200	20	15	3,0	6,6	0,6	1,3	2,0	4,4

(1) Una vaca adulta en un any.

(2) Per plaça porcina = 2,2 animals a l'any.

(3) Una gallina ponedora per any.

(4) Una plaça d'esquer per any.

(5) Una plaça de vedell en esquer = 2,2 vedells a l'any.

## 2.1. Problemàtica

Les grans quantitats de fems produïts a l'actualitat pel sector de la cria d'animals, així com els fluxos de residus orgànics humits (purins) representen un risc de contaminació constant amb un potencial d'impacte negatiu sobre el medi ambient, si no es gestiona de manera òptima (Holm-nielsen et al., 2009).

Quan no és tractat o és mal gestionat les dejeccions animals es converteixen en una font de contaminació de l'aire i de l'aigua. La lixiviació de nutrients, principalment nitrogen i fòsfor, l'evaporació d'amoníac i la contaminació per patògens són algunes de les amenaces. El sector de la producció animal és responsable del 18% d'emissions de gasos d'efecte hivernacle globals, mesurats en equivalents de CO<sub>2</sub> i el 37% del



metà antropogènic, que té 23 vegades el potencial d'escalfament global de CO<sub>2</sub> (Holm-nielsen et al., 2009).

Les fonts de contaminació per les dejeccions són, per una banda, el femer o la pila on són emmagatzemats i, per l'altre, una vegada aplicat a la terra. La principal forma de contaminació dels fems és la pol·lució de l'aigua amb nitrats (Iglesias, 1995):

1. El vessament és l'escorriment d'aigua per la superfície del sòl. Aquesta escorrentia pot tenir dos conseqüències: per una banda, pot arrossegar partícules, produint erosió i, per l'altre, pot arrossegar productes contaminants, com són els nitrats.
2. La infiltració és el pas de l'aigua a través del sòl, arribant als aquífers subterranis. Per aquesta via també es pot arrossegar nitrats, amb la possible contaminació d'aquestes aigües subterrànies.
3. La volatilització és el pas dels components gasosos a l'atmosfera, produint males olors i, per tant, contaminació.

## **2.2. Producció a Espanya**

La producció de carn a Espanya ha augmentat vint vegades els últims 60 anys, sobretot en les produccions de porcí, boví i aus. Aquest increment ha vingut lligat a una intensificació i industrialització d'aquestes produccions. La ramaderia industrial porcina i avícola es localitza prioritàriament al vall de l'Ebre (Aragó i Catalunya) i en la Regió de Murcia i Valencia. Lleida, és la província amb un major número de caps (UR) del sector ramader en Espanya en els dos últims decennis (Futur agrari, 2012).

A Catalunya el sector ramader té un paper estratègic molt important ja que representa el 60% de la Producció Final Agrària (PFA) i d'ell depèn la viabilitat d'altres sectors també importants, com el de les indústries transformadores i de la fabricació

de pinsos. Les comarques amb una major intensitat ramadera són el Segrià (319.558 UR), la Noguera (309.846 UR), Osona (239.484 UR) i les Garrigues (205.791 UR) (Futur agrari, 2012).

No obstant al 2009 el sector boví ha patit una reducció dels efectius, sobretot en les principals comarques productores: el Segrià, que ha passat dels 103.768 caps als 59.113 (-43,0%) i Osona, que ha passat dels 90.008 caps a 68.483 (-23,9%). Únicament als àmbits de l'Alt Pirineu i del Camp de Tarragona han mantingut un comportament positiu (Futur agrari, 2012).

En les següents taules es poden observar la quantitat d'animals a les diferents comarques de Catalunya (taula 2.2.) i a les comunitats d'Espanya (taula 2.3.), el Cens Agrari de 2009 és l'últim al qual es té accés.

Taula 2.2. Cens Agrari de 2009 Catalunya (INE, 2009)						
Comunitats autònomes	Nombre de caps per espècies					
	Boví	Oví	Caprí	Equins	Porcí	Aus
Barcelona	149.369	153.340	18.400	5.664	1.568.060	4.429.553
Girona	152.455	121.688	17.128	5.832	960.062	4.870.258
Lleida	228.019	261.046	19.732	6.286	3.617.723	21.553.586
Tarragona	14.292	64.008	16.488	1.570	596.793	13.037.166
<b>Catalunya</b>	<b>544.135</b>	<b>600.082</b>	<b>71.748</b>	<b>19.352</b>	<b>6.742.638</b>	<b>43.890.563</b>

Taula 2.3. Cens Agrari de 2009 Espanya (INE, 2009)						
Comunitats autònomes	Nombre de caps per espècies					
	Boví	Oví	Caprí	Equins	Porcí	Aus
Andalusia	538.909	2.118.935	877.579	106.584	2.047.976	24.017.096
Aragón	330.515	1.936.347	50.924	4.446	5.473.937	21.388.186
Astúries, Principat de	389.389	38.882	25.446	19.138	15.135	288.560
Balears, Illes	32.895	286.247	12.623	5.258	65.555	706.175
Canàries	15.528	61.945	221.644	1.752	52.878	2.704.579
Cantabria	278.456	52.628	17.192	25.987	3.157	180.492
Castilla y León	1.220.631	3.408.569	141.788	32.206	3.110.201	21.571.243
Castilla - La Mancha	355.471	2.580.226	376.156	11.307	1.403.733	25.423.149
Catalunya	544.135	600.082	71.748	19.352	6.742.638	43.890.563
Comunitat Valenciana	51.001	338.989	63.211	6.859	1.111.502	18.398.081
Extremadura	675.637	3.395.638	263.047	19.936	1.074.722	5.151.248
Galicia	971.540	186.050	35.127	20.060	1.154.403	21.148.004
Madrid, Comunitat de	92.552	8.6442	17.609	5.148	27.970	2.268.206
Murcia, Regió de	57.339	482.640	150.715	2.740	1.635.122	4.629.112
Navarra, Comunitat de	108.065	600.381	7.485	14.342	664.077	4.089.088
País Vasco	136.246	272.167	21.547	19.255	16.092	1.596.474
Rioja, La	42.487	128.033	9.675	3.504	112.959	3.453.172
Ceuta		5	6			270
Melilla	5	14				28



### 3. Tractament de fems i purins

L'augment massiu d'animals confinats durant les últimes dècades fa aparèixer la necessitat de nous sistemes de gestió de residus, tècniques que facin d'un residu i d'un problema ambiental una operació econòmicament viable i ambientalment benigna.

Una estratègia de tractament és una combinació de processos amb l'objectiu d'adequar les dejeccions ramaderes, ja que no existeixen tractaments que eliminin completament els fems (Pozuelo et al., 2004). Existeixen diverses estratègies, però la idònia dependrà del problema en qüestió. La prioritat s'indica a la figura 3.1:

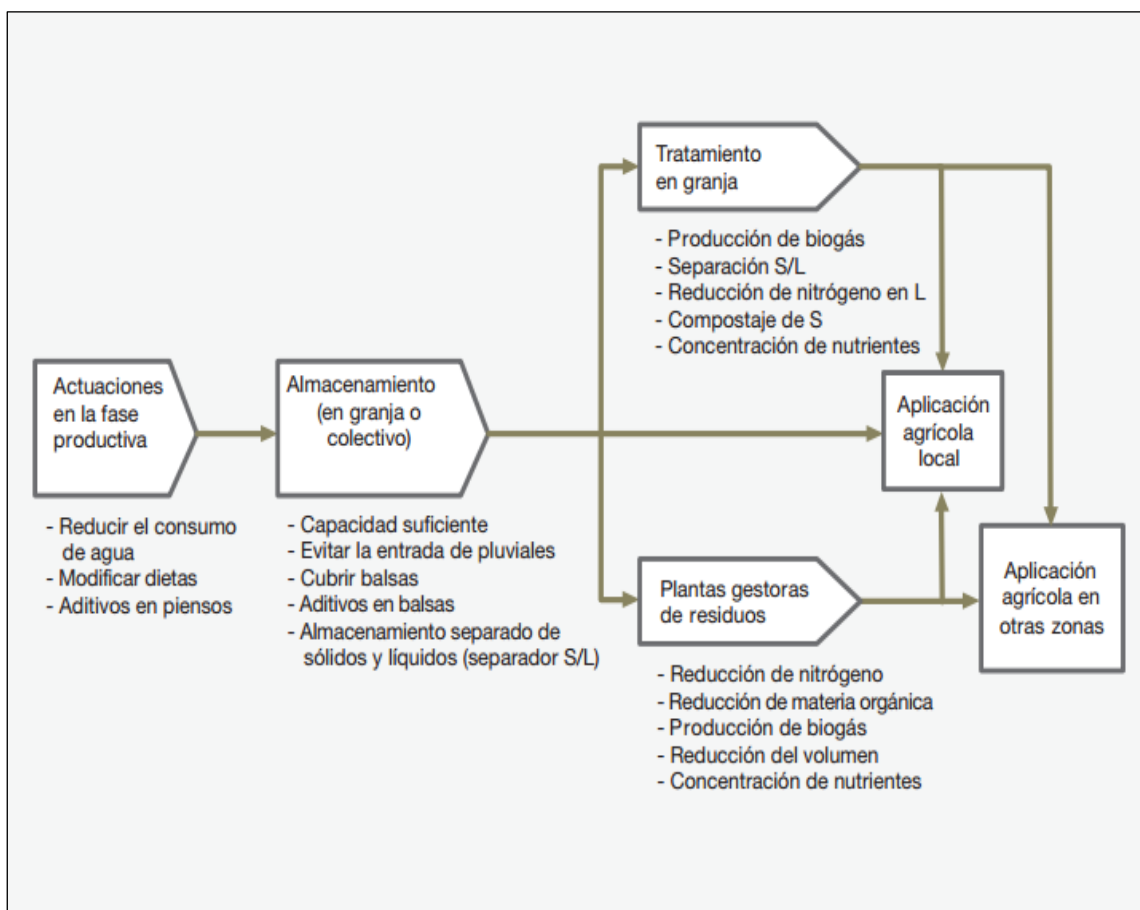


Figura 3.1. Línies d'actuació per la gestió i el tractament de dejeccions ramaderes (Pozuelo et al., 2004)

**Primera actuació:** es refereix al canvi als sistemes d'alimentació i maneig en la mateixa granja, per tal de minimitzar la concentració de nutrients i de metalls en les dejeccions i disminuir el volum.

**Segona actuació:** es refereix a la capacitat d'emmagatzemament, que ha de ser adequada a les necessitats temporals dels cultius. Aquest emmagatzemament pot realitzar-se per les dejeccions en brut o per les fraccions sòlides i líquides per separat.

**Tercera actuació:** es refereix a l'ús posterior de les dejeccions. L'actuació prioritària és l'aplicació als cultius, però també es pot plantejar una prèvia producció de biogàs

Quan s'arriba a la conclusió que s'ha d'aplicar alguna estratègia de tractament, la qüestió és decidir el tractament que s'ha de dur a terme bé a la mateixa granja o bé de manera col·lectiva o també en plantes gestores de residus (Pozuelo et al., 2004).

### 3.1. Tipus de tractament

A continuació es detallen els tractaments més importants, indicant què fan i quins paràmetres caracteritzen la contaminació (Pozuelo et al., 2004):

#### 3.1.1. Basses

Les basses són una eina fonamental per regular l'equilibri entre la producció continua de purins i l'aplicació estacional als cultius, veure figura 3.2.. Aquesta regulació es realitza gràcies al volum de la bassa que deu ser el necessari per fer una bona gestió dels nutrients, principalment del nitrogen.



Figura 3.2. Balsa excavada amb lamina de polietilè  
(Pozuelo et al., 2004)

Durant l'emmagatzemament es produeixen efectes interessants, com poden ser la reducció d'agents patògens i un cert grau de mineralització. Per contra, es produeixen fermentacions incontrolables i pèrdues per volatilització d'amoniac i compostos orgànics, i per tant es generen olors desagradables i pèrdues del valor fertilitzant.

Per evitar això, és convenient cobrir les basses evitant que els animals respirin l'ambient enrarit a causa de la volatilització de l'amoniac i la matèria orgànica, i que la bassa es trobi allunyada del recinte sanitari de la granja.

A les basses també es poden afegir additius, és a dir, productes químics i/o biològics, que s'apliquen als fems i al pinso amb l'objectiu de modificar les característiques de les dejeccions, per l'aplicació posterior al sòl, millora del maneig, reducció de les emissions de gasos contaminants i /o millora de l'ambient en locals d'estabulació i benestar dels animals.

### 3.1.2. Separació de fases sòlid-líquid

#### 1. Separació física: sòlid-líquid (figura 3.3.):

Procés físic que permet separar els sòlids continguts en unes dejeccions de consistència líquida i generar dos fraccions diferents, una sòlida i una líquida. La fracció sòlida té una concentració de sòlids molt més elevada i la fracció líquida una concentració menor.

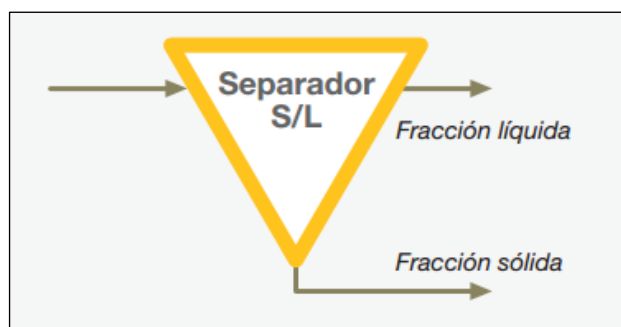


Figura 3.3. Esquema separació sòlid-líquida física. (Pozuelo et al., 2004)

## 2. Separació físic - química: sòlid-líquid (figura 3.4.):

Els sistemes de tractament físic-químic es refereixen a mètodes de transferència de partícules suspeses en una solució a una fase sòlida. Aquestes partícules suspeses són molt petites (col·loides) i no sedimenten de manera natural, degut a la seva mida i al no tenir carrega

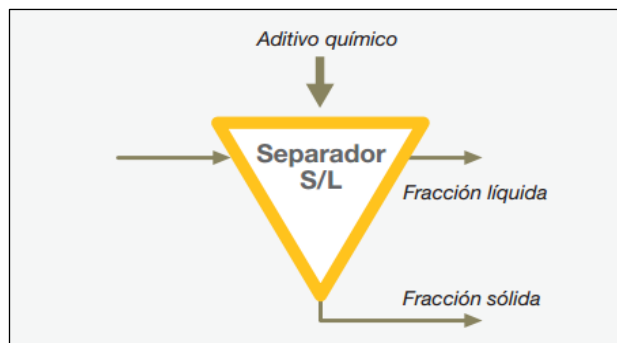


Figura 3.4. Esquema separació sòlid-líquida química (Pozuelo et al., 2004)

superficial causa una repulsió mútua i una tendència a mantenir la distància entre si. Per aconseguir que decantin es requereix l'ajuda d'agents químics, per provocar la coagulació i/o floculació.

### 3.1.3. Compostatge

El procés de compostatge (fig. 3.5.) consisteix en la descomposició biològica aeròbia i estabilització de substrats orgànics, sota condicions que permeten tenir temperatures termòfiles (entre 50 i 70°C), com a resultat de la

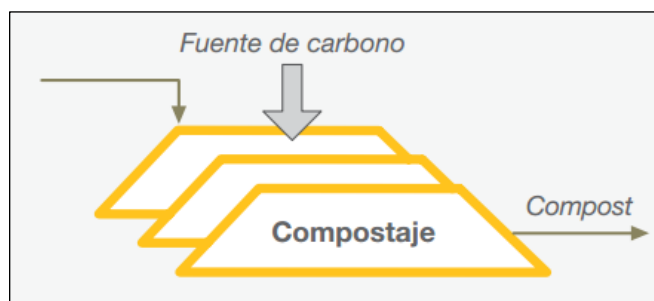


Figura 3.5. Esquema compostatge. (Pozuelo et al., 2004)

generació d'energia calorífica d'origen biològic, de la qual s'obté un producte final estable, lliure de patògens que pot ser aplicat al sòl beneficiosament.

A causa de l'acció dels microorganismes, es consumeix oxigen i es produeix diòxid de carboni, aigua i calor (veure fig. 3.6.). Per tant el sistema requereix aire que pot ser subministrat per moure la pila o per sistemes més complexes, com la ventilació



amb un bufador. Aquest proporciona oxigen als microorganismes i regula l'excés d'humitat per evaporació, que a la vegada mantindrà la temperatura adequada.



Figura 3.6. Piles de compostatge (Pozuelo et al., 2004)

#### 3.1.4. Nitrificació –Desnitrificació (DND)

El procés DND (fig.3.7.) té com a objectiu bàsic l'eliminació del nitrogen que hi ha en un residu. Es tracta d'un procés microbiològic en el qual l'amoniac és oxidat per bacteries autòtrofes a nitrat en presència d'oxigen i carbó inorgànic (nitrificació) i, a continuació, aquest nitrat és reduït per bacteries heteròtrofes a nitrogen molecular gas, en absència d'oxigen i presència de carbó orgànic (desnitrificació).

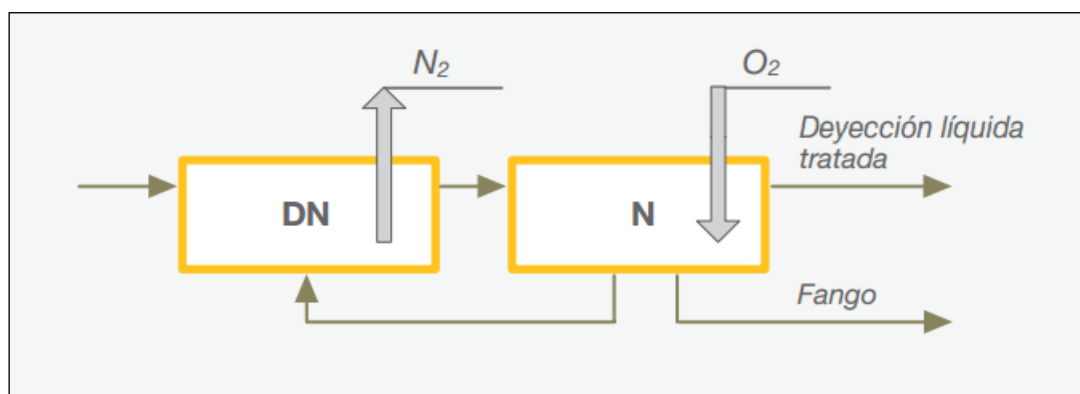


Figura 3.7.. Esquema DND (Pozuelo et al., 2004)

En la figura 3.8. es poden observar la classificació dels sistemes de DND. L'objectiu d'aquestes és transformar el nitrogen orgànic i amoniacal en nitrogen gas inert i no contaminant, eliminar la matèria orgànica i reduir les males olors. En cas de que no

s'operi correctament la volatilització de l'amoniac es pot veure afectada o bé generar encara més males olors.

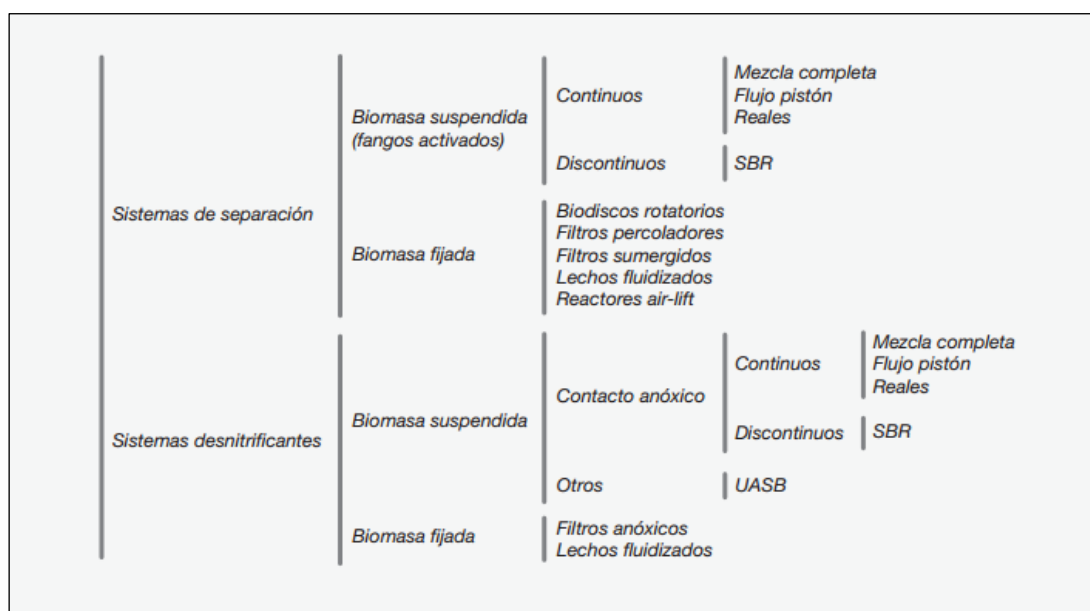


Figura 3.8.. Classificació de sistemes de nitrificació – desnitrificació (Pozuelo et al., 2004)

### 3.1.5. Evaporació i assecat

Procés pel qual es separa aigua per mitjà de la seva evaporació. Amb la finalitat de que els vapors no causin problemes de contaminació a l'atmosfera, l'evaporació s'ha de realitzar en buit (sota pressió o depressió), a temperatura moderada (50-60°C) i amb condensació posterior dels vapors (recuperació d'aigua condensada).

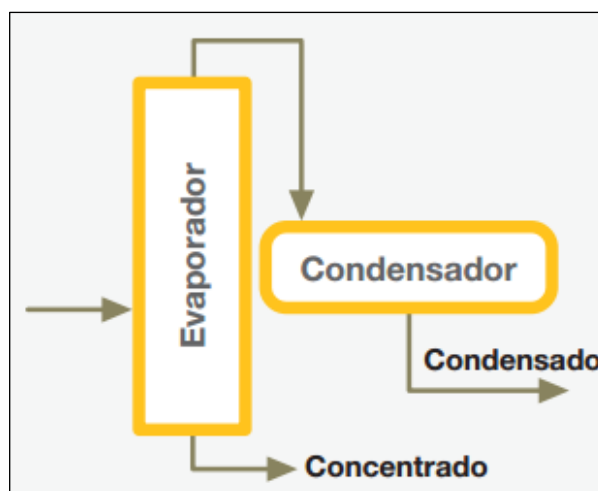


Figura 3.9. Esquema d'evaporació

(Pozuelo et al., 2004)

Si la matèria primera és un líquid amb matèria dissolta en suspensió el procés es denomina **evaporació** (fig. 3.9.), i els productes obtinguts són un concentrat amb un contingut de sòlids totals a l'entorn del 25-30%, i aigua condensada.

Si la matèria primera és un sòlid humit (concentració de sòlids totals superior al 20-30%) el procés es denomina **assecat** (fig. 3.10.), i en aquest cas s'utilitza aire per evacuar la humitat. Degut a que aquest

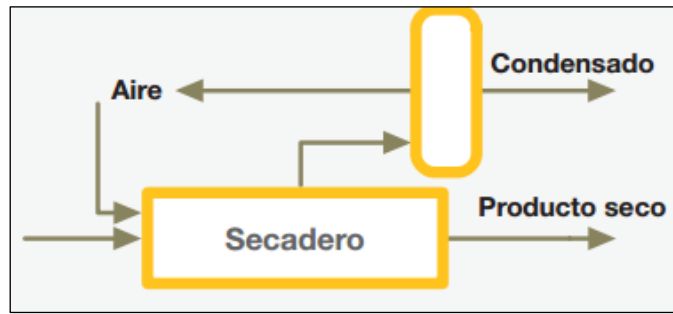


Figura 3.10. Esquema d'assecat (Pozuelo et al., 2004)

aire pot estar carregat d'amoniac i altres compostos volàtils, és convenient rentar-lo i tractar-lo posteriorment en un biofiltre, si es dóna el cas, després de la recuperació de l'aigua condensada.

El concentrat dels processos contindrà tot el nitrogen, si abans s'ha baixat el pH amb ajuda d'un àcid, alhora l'aigua condensada serà més neta i per tant reutilitzable o abocable, si abans s'ha eliminat la matèria orgànica més volàtil mitjançant un sistema de digestió anaeròbia i producció de biogàs.

### 3.1.6. Stripping i absorció

El *stripping* és un procés pel qual el nitrogen amoniacal passa a un corrent d'aire. Aquest procés es deu combinar amb l'absorció posterior d'aquest amoniac amb un corrent d'aigua amb la finalitat de que no s'emeti a l'atmosfera (fig. 3.11.). Com a resultat d'això s'obté aigua amoniacal o una sal d'amoni. El *stripping* es veu afavorit si el pH en l'entrada del procés és alt i/o si la temperatura és alta (> 60°C) mentre que l'absorció requereix que l'aigua porti un àcid (pH baix).

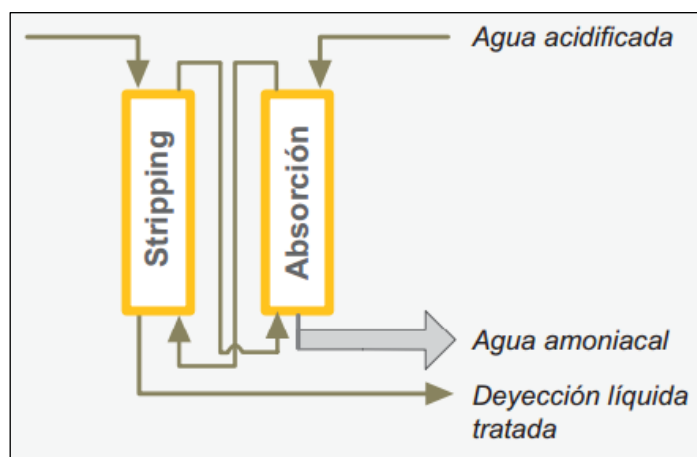


Figura 3.11. Esquema *stripping* més absorció. (Pozuelo et al., 2004)

Aquest procés permet obtenir una sal amoniacal neta, sense contaminació per matèria orgànica ni mala olor. Per tal de que es pugui substituir un fertilitzant mineral, és convenient eliminar prèviament la matèria orgànica dels purins.

### 3.1.7. Digestió aeròbia

La digestió aeròbia (fig. 3.12.) consisteix en la descomposició biològica de la matèria orgànica en presència d'oxigen, el qual deu aportar-se per agitació superficial o per bombolleig a la bassa de purins. Aquest procés és equivalent al de compostatge d'una dejecció de consistència sòlida, però aquí el medi líquid només pretén una reducció de matèria orgànica, sense buscar una relació C/N adequada ni una qualitat del producte final obtingut.

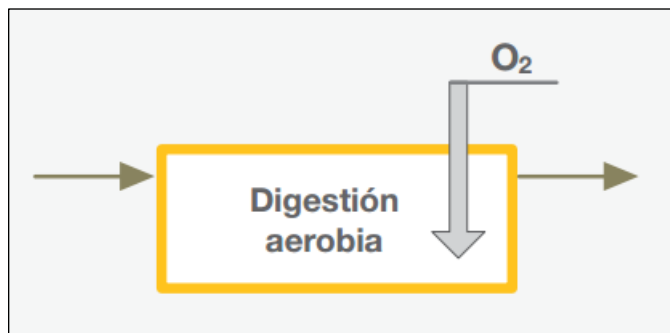


Figura 3.12.. Esquema Digestió aeròbia

(Pozuelo et al., 2004)

Si la concentració de matèria orgànica és elevada, es pot arribar aconseguir un increment significatiu de temperatura i produir un ambient termofílic amb els avantatges en quant a la higienització. Si el calor generat en la descomposició de la matèria orgànica permet mantenir temperatures termofíliques d'una manera continua, el procés es denomina ATAD (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion).

Amb aquest tractament s'aconsegueix una reducció de càrrega orgànica important (fins el 60% dels sòlids volàtils), una reducció de nitrogen amoniacal, els microorganismes aerobis creixen i formen flòculs, per tant són fàcils de precipitar. També redueix la quantitat d'organismes patògens i males olors i estabilitza la matèria orgànica.

### 3.1.8. Digestió anaeròbia

La digestió anaeròbia, també denominada bio-metanització o producció de biogàs és un procés biològic, que té lloc en absència d'oxigen, en el qual part de la matèria orgànica de les dejeccions es transforma, per l'acció de microorganismes, en una barreja de gasos (biogàs) constituït principalment per metà i diòxid de carboni.

Es tracta d'un procés complex en el qual intervenen diferents grups de microorganismes. La matèria orgànica es descompon en compostos més senzills, que són transformats en àcids grassos volàtils, que són els principals intermediaris i moduladors del procés. Aquests àcids són consumits per microorganismes metanogènics que produeixen metà i diòxid de carboni.

Aquest procés s'explica amb més detall a l'apartat 4.

**Altres processos menys freqüents:** Filtració per membrana, Osmosi inversa i Ozonització.

## 3.2. Tractaments combinats

Els processos anteriors es poden combinar per aconseguir un objectiu determinat. Les combinacions poden ser molt variades, a continuació s'explicaren dos de les possibles combinacions amb més complexitat tecnològica (Pozuelo et al., 2004).

### 3.2.1. Combinació per l'eliminació del nitrogen

A una separació sòlid-líquid del residu, amb l'ajuda dels additius adequats, s'obté una fracció sòlida apta pel compostatge o bé transportada fins les zones amb dèficit de nutrients, i una fracció líquida preparada per un tractament d'eliminació de nitrogen mitjançant el procés de nitrificació-desnitrificació (fig. 3.13.).

Segons quina sigui la composició del líquid efluent d'aquest tractament, es podrà abocar (directament o amb tractament terciari previ d'afinament) a llera pública o bé a utilitzar-se com aigua de rec o neteja.

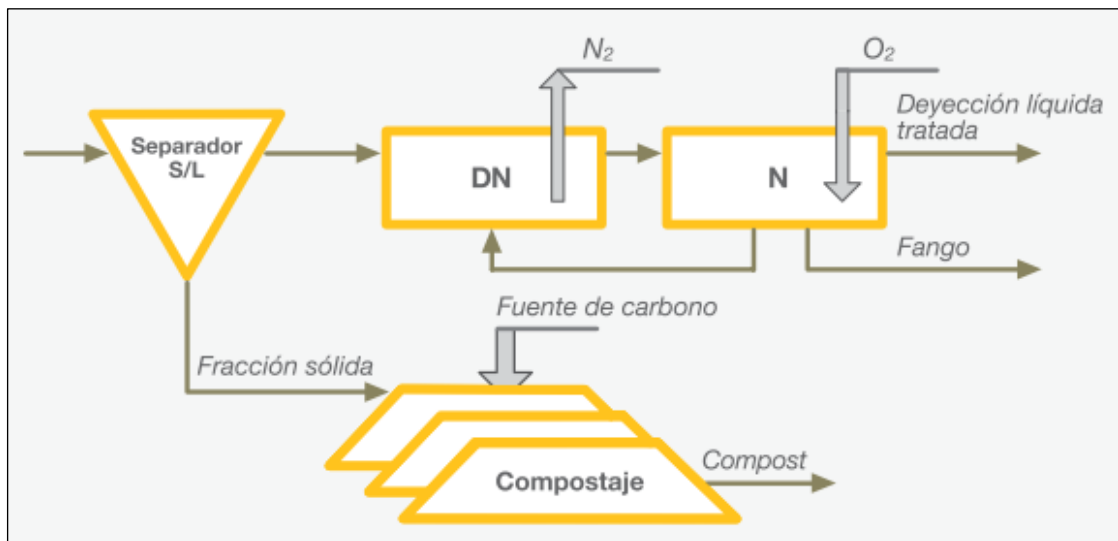


Figura 3.13. Esquema procés combinat (Pozuelo et al., 2004)

### 3.2.2. Combinació per la reducció del volum per concentració tèrmica

La majoria d'estratègies de tractament presenten un nivell de complexitat tecnològica més elevada en el moment en que, fent ús d'energia tèrmica, evacuen total o parcialment la humitat de les dejeccions mitjançant els processos d'evaporació i/o assecat. Això permet obtenir únicament amb productes finals, a partir de purins, un granulat sec o un compost.

Aquests productes tenen que poder ser comercialitzats fora de la zona aplicable del pla de gestió. El gran avantatge del sistema és la reducció significativa del volum, que afavoreix al transport de productes finals a baix cost. Sempre s'han de combinar els processos d'evaporació o assecat amb altres processos, ja sigui per reduir la matèria orgànica, per reduir nitrogen o bé separar el fraccions.

La font d'energia tèrmica prové d'un procés de cogeneració alimentat amb gas natural ajudat amb biogàs en el cas que s'hagi inclòs el procés de digestió

anaeròbia en l'estratègia del tractament. Si l'aigua condensada obtinguda té qualitat suficient, podrà ser utilitzada per la refrigeració dels motors de cogeneració, i evaporada a l'atmosfera.

En la taula 3.1. es sintetitzen les característiques de les combinacions de processos de cinc empreses que disposen d'instal·lacions en funcionament en Espanya.

Taula 3.1. Caracterització de combinació de processos amb implantació a escala industrial (Pozuelo et al., 2004)									
Proceso	Reducción o eliminación de materia orgánica				Separación S/L		Tratamiento del líquido		Tratamiento del sólido
	<i>Digestión anaerobia</i>	<i>Digestión aerobia</i>	<i>NDN</i>	<i>Ozonización</i>	<i>Física</i>	<i>Físico-química</i>	<i>Evaporación al vacío</i>	<i>Evaporación atmosférica</i>	<i>Secado</i> <i>Compostaje</i>
Combinación 1	X				X		X		X
Combinación 2						X	X		X
Combinación 3				X		X	X		X
Combinación 4		X				X		X	X
Combinación 5			X			X	X		X





## 4. Digestió anaeròbica

### 4.1. Digestió anaeròbica destinada a la producció de biogàs

#### 4.1.1. Biogàs

El biogàs consisteix en la barreja de gasos produïts per bacteries metanogèniques que transformen el material biodegradable en condicions anaeròbies. Està compostat de 60 a 80% de metà, 30 a 40% de diòxid de carboni i traces d'altres gasos, com el nitrogen, l'àcid sulfhídric, el monòxid de carboni i l'hidrogen. A, la taula 4.1. es presenten les seves característiques generals .

Taula 4.1. Característiques generals del biogàs(Tobergte and Curtis, 2013)	
Contingut energètic	6,0 – 6,5 Kw·h·m <sup>-3</sup>
Equivalent de combustible	0,60 – 0,65 L petroli/m <sup>3</sup> biogàs
Límit d'exposició	6-12 % de biogàs en aire
Temperatura d'ignició	650 – 750°C
Pressió crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82,5 °C
Densitat normal	1,2 kg·m <sup>-3</sup>
Olor	Ou podrit (l'olor del biogàs dessulfuritatzat és imperceptible)
Massa molar	16,043 kg·kmol <sup>-1</sup>

#### Aplicacions del biogàs:

Existeixen diverses aplicacions pel biogàs però es destaquen la producció de calor o vapor, la generació d'electricitat i com a combustible de vehicles.

#### 4.1.2. Digestió anaeròbica per la producció de biogàs

La digestió anaeròbica (AD) consisteix en la descomposició dels residus orgànics complexos i produeix biogàs, principalment metà ( $\text{CH}_4$ ) i diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) mitjançant microorganismes anaerobis. El procés d'AD es produeix en tres etapes principals: la hidròlisi, la fermentació i la producció de metà. Durant la hidròlisi els compostos complexos es descomponen en components solubles. Per tant, estan fàcilment disponibles pels bacteris fermentatius per convertir-se en alcohols, àcid acètic i altres àcids grassos volàtils (AGV), a part del gas que conté  $\text{H}_2$  i  $\text{CO}_2$  (Cantrell et al., 2008).

Aquests productes intermedis es metabolitzen principalment a  $\text{CH}_4$  (60-70%),  $\text{CO}_2$  (30-40%) i altres gasos associats. La taxa de producció de biogàs és sensible a canvis en els materials de l'afluent, en el pH, la temperatura, la velocitat de càrrega orgànica (OLR) i el temps de retenció hidràulica (TRH). Com a tal, aquestes variables han de ser controlades per tal de maximitzar la producció de biogàs (Cantrell et al., 2008).

Per tant, per a què una operació de digestió anaeròbia sigui eficaç per a la producció de biogàs, un equilibri entre els agents acidogènics, acetogènics i metanogènics és crucial. La temperatura també afecta a les activitats metabòliques dels microorganismes que, alhora, afecten a la velocitat de digestió i producció de metà. Hi han tres rangs de temperatura comú per a la digestió anaeròbica (Cantrell et al., 2008):

- (1) els rangs de baixa temperatura ( $<20^\circ\text{C}$ ) amb microorganismes psicròfils;
- (2) temperatures de digestió dins de  $20\text{-}45^\circ\text{C}$ , amb mesòfils;
- (3) un interval de temperatura de  $45$  a  $60^\circ\text{C}$  amb termòfils.

La velocitat de càrrega orgànica (OLR) es defineix com la quantitat de sòlids volàtils (VS) o demanda química d'oxigen (DQO), les taxes de càrrega més altes poden reduir tant la mida del digestor com el cost. No obstant això, s'ha de permetre

temps per la microflora descompondre la matèria orgànica i convertir-la a gas. Motiu pel qual sorgeix la necessitat de controlar el temps de retenció hidràulica (TRH). El valor del TRH és un procés de la DA que es calcula com la relació entre el volum del digestor i la taxa de flux volumètric de l'efluent (Cantrell et al., 2008).

Tot i que la digestió anaeròbia té un alt nivell de manteniment i gestió, juntament amb la inversió de capital inicial elevada, un digestor anaeròbic que funcioni correctament pot proporcionar nombrosos beneficis. Aquests beneficis inclouen (Cantrell et al., 2008):

- (1) Control de l'olor;
- (2) Reducció de les emissions de gasos contaminants;
- (3) Eliminació potencial de patògens;
- (4) Reducció d'aigües residuals (demanda d'oxigen);
- (5) Conversió del nitrogen orgànic en nitrogen amoniacal;
- (6) Preservació de nutrients (N, P i K) per al seu ús com un fertilitzant d'alta qualitat;
- (7) Producció d'una font d'energia renovable: biogàs.

El producte de la digestió pot ser enviat a un separador de líquid-sòlid, on la part de líquid s'utilitza com a fertilitzant. Els sòlids separats poden ser compostats per estabilitzar i convertir-los en un producte més útil. El biogàs pot ser utilitzat per satisfer les necessitats d'energia de les explotacions agrícoles, per exemple a través de la combustió en una caldera o d'un motor (Cantrell et al., 2008).

També es pot utilitzar per satisfer demandes elèctriques amb l'excés d'electricitat que té potencial per ser venut a alguna empresa local de serveis públics. Però en la majoria dels casos de digestió anaeròbia a gran escala, l'estalvi d'energia i els ingressos potencials (és a dir, el preu de venda actual de l'electricitat) no són suficients per proporcionar un flux de caixa positiu (Cantrell et al., 2008).

#### 4.1.3. Factors determinants en la matèria primera

És important examinar alguns dels factors que governen el procés metanogènic, ja que són altament susceptibles als canvis en les condicions ambientals. Degut a això, la biotecnologia anaeròbica requereix del control d'algunes condicions ambientals com són: la temperatura (mesofílica o termofílica), el tipus de matèries primes, els nutrients i la concentració de minerals traça, el pH, la toxicitat i les condicions redox òptimes (Tobergte and Curtis, 2013), algunes d'aquestes característiques ja comentades a l'apartat anterior. Aquest apartat es centrarà en la matèria prima.

Les diverses matèries primes que es poden utilitzar en la producció de biogàs, poden ser residus orgànics d'origen vegetal, animal, agro-industrial, forestal, domèstic o altres (Taula 4.2).

Taula 4.2. Residus orgànics de diversos orígens(Tobergte and Curtis, 2013)	
Residus d'origen animal	Fems, purins, residus de peixos, residus d'escorxadors.
Residus d'origen vegetal	Males herbes, palles, rostolls de collita,
Residus d'origen humà	Excrements, orina, brossa.
Residus agro-industrials	Salvat d'arròs, brises, melasses, residus de llavors.
Residus forestals	Fulles, plançons, rames i corteses.
Residus de cultius aquàtics	Algues marines, jacints, males herbes aquàtiques.

Las característiques bioquímiques que presenten aquests residus han de permetre el desenvolupament i l'activitat microbiana del sistema anaeròbic. El procés microbiològic no només requereix de fonts de carboni i nitrogen sinó que també han d'estar presents en un cert equilibris als minerals (sofre, fòsfor, potassi, calci, magnesi, ferro, manganès, molibdè, zinc, cobalt, seleni, tungstè, níquel i altres menors) (Tobergte and Curtis, 2013).

En termes generals, es poden classificar els substrats en quatre classes en funció del seu aspecte físic, nivell de dilució, grau de concentració i característiques quantitatives, com el percentatge de sòlids totals (ST), sòlids volàtils (SV) i demanda química d'oxigen (DQO), com es pot veure a la taula 4.3..

Taula 4.3. Classificació de substrats per la Digestió Anaeròbica (Tobergte and Curtis, 2013)			
Característiques	Classe	Tipus de substrats	Característiques quantitatives
<b>Sòlid</b>	1	Brossa domestica	>20% ST
		Dejeccions sòlides	40-70% fracció orgànica
		Sobres de collites	
<b>Fangs altament contaminat, alta viscositat</b>	2	Excrements d'animals	100-150 g/l DQO 5-10% ST 4-8% SV
<b>Fluids amb alt contingut de sòlids en suspensió (SS)</b>	3	Excrements d'animals de cria i diluït amb aigua de rentat	3-17 g/l DQO
		Aigües residuals d'escorxadors	1-2 g/l DQO
<b>Fluids molt contaminats, sòlids en suspensió</b>	4	Aigües residuals de agro-indústries	5-18 g/l DQO
		Aigües negres	4-500 d/l DQO

Per tant, depenent de la composició bioquímica de cada matèria prima, es tindrà una dinàmica de producció de biogàs (Taula 4.4).

Taula 4.4. Producció de biogàs per tipus de residu animal (Tobergte and Curtis, 2013)			
Dejeccions	Disponibilitat (Kg/dia)*	Volum de biogàs	
		m <sup>3</sup> /kg humit	m <sup>3</sup> /dia/any
<b>Boví (500 kg)</b>	10,00	0,04	0,0400
<b>Porcí (50 kg)</b>	2,25	0,06	0,135
<b>Aus (2 kg)</b>	0,18	0,08	0,140
<b>Oví (32 kg)</b>	1,50	0,05	0,075
<b>Caprí (50kg)</b>	2,00	0,05	0,100
<b>Conill (450kg)</b>	10,00	0,04	0,400
<b>Humanes</b>	0,40	0,06	0,025

\* Aquesta dada fa referència a la quantitat estimada de dejeccions que és possible recol·lectar de tot el producte.

Pràcticament tota la matèria orgànica és capaç de produir biogàs al ser sotmesa a la fermentació anaeròbica. La qualitat i la quantitat del biogàs produït dependrà de la composició i de la naturalesa del residu utilitzat. Els nivells de nutrients han d'estar per sobre de la concentració òptima pels bacteris metanogènics, ja que elles s'inhibeixen severament per falta de nutrients (Tobergte and Curtis, 2013).

El carboni i el nitrogen són les principals fonts d'alimentació dels bacteris metanogènics. El carboni constitueix la font d'energia i el nitrogen és utilitzat per la formació de noves cèl·lules. Aquests bacteris consumeixen 30 vegades més carboni que nitrogen, per això la relació òptima d'aquests dos elements en la matèria prima es considera en un rang de 30:1 fins a 20:1 (Tobergte and Curtis, 2013).

La descomposició de materials amb un alt contingut de carboni, superior a 35:1, passa més lentament, ja que la multiplicació i desenvolupament de bacteris és

baixa, per la falta de nitrogen, però el període de producció de biogàs és més prolongat. En canvi, amb una relació C/N menor de 8:1 s'inhibeix l'activitat bacteriana degut a la formació excessiva del contingut d'amoni, el qual en grans quantitats és tòxic i inhibeix el procés (Tobergte and Curtis, 2013).

En terminis generals, es considera que una relació C/N òptima, que ha de tenir el material que s'utilitzi per iniciar la digestió anaeròbica, és de 30 unitats de carboni per una unitat de nitrogen, és a dir, C/N = 30/1. Per tant, quan no es té un residu amb una relació C/N inicial apropiada, és necessari realitzar mescles de matèries en les proporcions adequades per obtenir la relació C/N òptimes.

Sobre la base del contingut de carboni i de nitrogen de cada una de les matèries primes (Tabla 4.5.) es pot calcular la relació C/N de la mescla aplicant la següent formula (Tobergte and Curtis, 2013):

$$K = \frac{C1 \cdot Q1 + C2 \cdot Q2 + \dots + Cn \cdot Qn}{N1 \cdot Q1 + N2 \cdot Q2 + \dots + Nn \cdot Qn}$$

K = C/N de la mescla de matèries primes.

C = % de carboni orgànic contingut en cada matèria prima.

N = % de nitrogen orgànic contingut en cada matèria prima.

Q = Pes fresc de cada matèria, expressat en kilograms o tones.

Tabla 4.5. Valores mitjans aproximats de la relació carboni/nitrogen d'alguns residus disponibles en el medi rural (Tobergte and Curtis, 2013)			
Materials	%C	%N	C/N
Boví	30	1,30	25:1
Oví	35	1,00	35:1
Porcí	25	1,50	16:1

<b>Caprí</b>	40	1,00	40:1
<b>Conills</b>	35	1,50	23:1
<b>Excrements humans</b>	2,5	0,85	3:1
<b>Palla de blat</b>	46	0,53	87:1
<b>Palla d'ordi</b>	58	0,64	90:1
<b>Palla d'arròs</b>	42	0,63	67:1
<b>Fulles seques</b>	41	1,00	41:1

Un altre factor també a tenir en compte és que tota la matèria orgànica esta composta d'aigua i una fracció sòlida anomenada sòlids totals (ST). El percentatge de sòlids totals continguts en la mescla amb la qual es carrega el digestor és un factor important a considerar per assegurar que el procés es realitzi satisfactòriament (Tobergte and Curtis, 2013).

Experimentalment s'ha demostrat que una càrrega en digestors semi-continus no ha de tenir més d'un 8 a 12 % de sòlids totals per assegurar el bon funcionament del procés, a diferència dels digestors discontinus, que han de tenir entre un 40 a 60% de sòlids totals (Tobergte and Curtis, 2013).

#### 4.1.4. Biodigestors

##### 4.1.4.1. Components del biodigestor

Els principals components d'un digestor anaeròbic són (Tobergte and Curtis, 2013):

- 1) Reactor:** Dispositiu principal on té lloc el procés bioquímic de degradació de la matèria orgànica.



- 2) Entrada de l'afluent:** Normalment l'afluent s'introdueix per la part superior del digestor i el sobrenedant s'extrau pel cantó oposat.
- 3) Sortida de l'efluent:** En un digestor de coberta fix pot haver de 3 a 5 tubs de sobrenedant posats a diferents nivells, o un únic tub amb vàlvules a diferents punts, per l'extracció de l'efluent.
- 4) Extracció de fangs:** Les canonades d'extracció de fangs solen estar col·locades sobre blocs al llarg del sòl inclinat i s'extrau pel centre del reactor.
- 5) Sistema de gas:** Trasllada els gasos en excés des del digestor fins als punts de consums o cremador.
- 6) Mostrejador:** Consisteix en una canonada amb una tapa de tancament amb frontisses que penetra en el tanc de digestió sense crear condicions perilloses causades per la barreja d'aire i gas al digestor.
- 7) Sistema d'escalfament del digestor:** En general, els digestors moderns funcionen a un rang de temperatures mesòfil. Els digestors es poden escalfar de diverses maneres, però actualment les instal·lacions, en general, porten un sistema de recirculació de fangs mitjançant un intercanviador exterior d'aigua calent.

#### **4.1.4.2. Classificació biodigestors anaeròbics**

Els digestors anaeròbics consisteixen essencialment d'un reactor continu amb agitació, que opera sota condicions mesòfiles o termòfiles. A continuació es veuran alguns exemples (Tobergte and Curtis, 2013):

### 1) Procés anaeròbic de contacte, fig. 4.1.

El disseny del procés anaeròbic de contacte (PAC) es compon d'un reactor de tipus convencional amb agitació, on es posa en contacte l'efluent que alimenta el reactor amb la biomassa anaeròbica que existeix dins del mateix. Això permet que els compostos orgànics solubles i col·loïdals es degradin ràpidament. Els microorganismes són capaços d'adherir-se a les partícules formant sòlids sedimentable en el procés.

La fracció de sòlids sedimentables que arriba amb l'efluent d'alimentació junt amb la biomassa activa es retira en un decantador ubicat després del reactor anaeròbic (decantador secundari). El fang obtingut es concentra i es recircula cap al reactor, produint la hidròlisis dels sòlids i la seva posterior mecanització. El líquid clar que surt per la part superior del decantador es pot derivar fins a una etapa final de tractament aeròbic a fi de realitzar una depuració addicional.

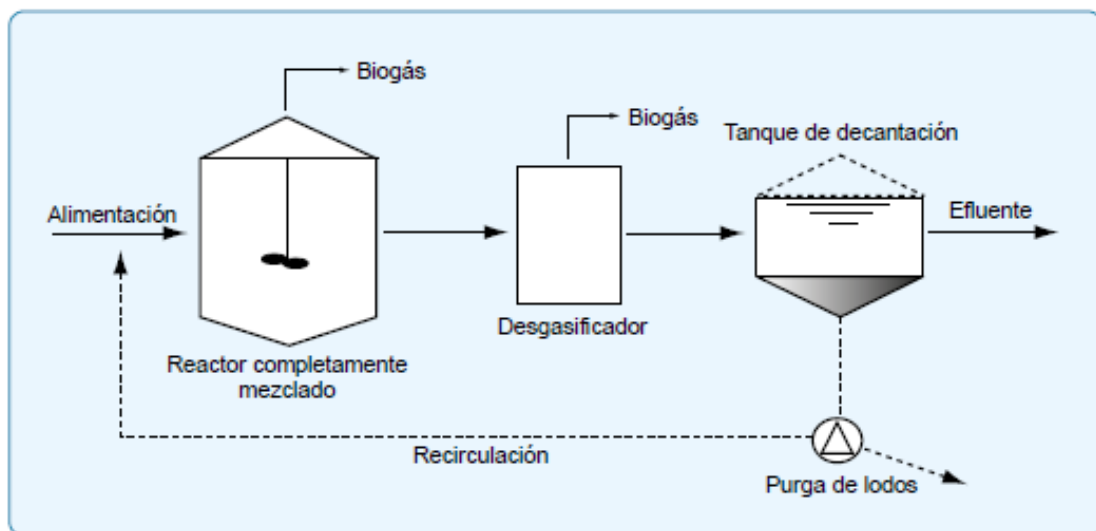


Figura 4.1. Esquema d'un procés de contacte anaeròbic.  
(Tobergte and Curtis, 2013)

## 2) Filtre anaeròbic, fig. 4.2.

Depenent de la forma d'alimentació, un filtre anaeròbic pot classificar-se com filtre anaeròbic ascendent (FAA), filtre anaeròbic descendent (FAD), o filtre anaeròbic d'alimentació múltiple (FAM):

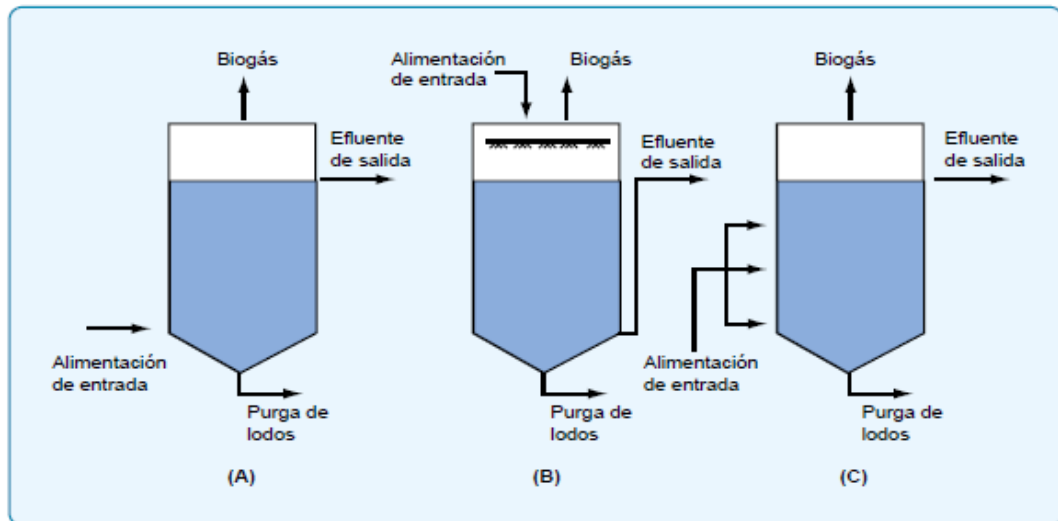


Figura 4.2. Filtres anaeròbics: (A) De flux ascendent; (B) De flux descendent; (C) D'alimentació múltiple. (Tobergte and Curtis, 2013)

### a) Filtre anaeròbic de flux ascendent:

Correspon a un tipus de reactor anaeròbic tubular que opera en règim continu i en flux ascendent, és a dir, l'alimentació entra per la part inferior del reactor, creua tot el reactor a través d'un llit plàstic i surt per la part superior. El volum porós del plàstic proporciona una elevada àrea superficial específica, que afavoreix el creixement de la biopel·lícula.

El gas lliure i el gas adherit a grànuls es retenen en el col·lector de gas en la part alta del reactor. El líquid que ha passat a través del mantell conté alguns sòlids residuals i grànuls biològics que passen a través del sedimentador on es separen els sòlids. Els sòlids tornen al caure a través del sistema de bafle en la part alta del mantell de fangs, degut a que un filtre anaeròbic reté una gran quantitat de biomassa, és possible mantenir un major TRS independentment del TRH.

**b) Filtre anaeròbic de flux descendent:**

Aquest sistema és similar al de flux ascendent, excepte que la biomassa és adherida al medi i en aquest procés el suport bacterià és acoblat al reactor formant canals verticals o tubs. L'alimentació banya al farcit des de dalt fins avall de la columna del reactor, per la seva eliminació o bé per la seva recirculació. A l'operar el reactor amb un flux descendent permet la utilització de la contracorrent entre la fase líquida i gasosa.

La contracorrent gas-líquid augmenta la mescla i l'homogeneïtzació del sistema impedit concentracions localitzades d'àcids grassos volàtils (AGV) i altres inhibidors en determinades zones del reactor. La combinació de flux descendent i dels canals verticals es minimitza l'acumulació de sòlids en suspensió en el reactor. Per tant, aquests reactors són capaços de tractar compostos solubles i insolubles.

**c) Filtre anaeròbic d'alimentació múltiple:**

En aquests sistemes, l'alimentació al reactor entra per diversos punts a través del filtre. Els avantatges d'aquest tipus de sistemes són:

- Permeten una distribució homogènia de la biomassa a través del llit, a diferència de l'estratificació dels grups hidrolítics, acidogènics i metanogènics en un sistema d'alimentació simple.
- Règim de mescla completa a través de tot el reactor, el qual preveu obstruccions i acumulació d'àcids grassos volàtils.
- Concentració uniforme del substrat en tot el reactor, el qual prevé el creixement de biomassa al fons del reactor, minimitzant així l'obstrucció del llit del filtre.

### 3) Reactor anaeròbic de seqüència tipus Batch, fig. 4.3.

Aquest sistema funciona per cicles, on cada cicle d'operació es divideix:

- (1) Alimentació: l'afluent és incorporat al reactor.
- (2) Reacció: etapa de temps variable on es degrada la matèria orgànica.
- (3) Sedimentació: es deté l'agitació i la biomassa es decanta, separant-se de l'efluent clarificat.
- (4) Descarrega: l'efluent depurat (clarificat) és retirat del reactor.

Aquest tipus de reactor presenta certes característiques particulars que el fan avantatjós front als sistemes convencionals continus, dins de les quals destaquen:

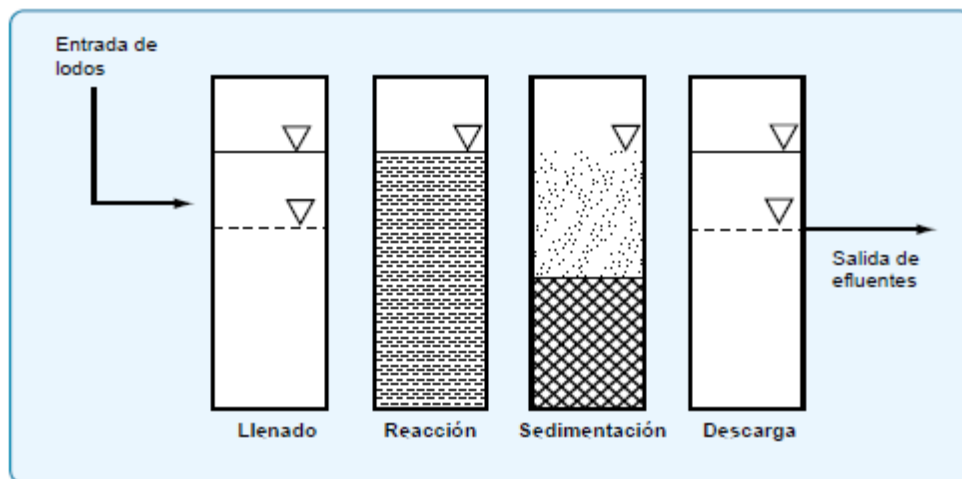


Figura 4.3. Etapes operacionals del reactor anaeròbic seqüencial tipus batch.  
(Tobergte and Curtis, 2013)

- Presenta una gran flexibilitat d'operació, aconseguint l'adaptació de la biomassa a un determinat tipus de substrat.
- Permet un millor control del procés i una millor qualitat de l'efluent, ja que la descarrega es pot dur a terme quan l'efluent presenta els estàndards requerits.
- La biomassa es troba en un estat dinàmic d'abundància i escassetat de substrat, simulant de la millor manera l'estat fisiològic natural dels microorganismes.

#### 4) Reactor de llit expandit i fluïditzat, fig. 4.4.

El reactor de llit expandit (RLE) correspon a una estructura cilíndrica, empaquetada fins a un 10% del volum del reactor amb un suport inert de mida petita que permet l'acumulació d'elevades concentracions de biomassa, aquests suports poden ser de sorra, carbó activat granular o altres mitjans plàstics sintètics, en els quals la matèria orgànica es degrada. Els suports es sostenen completament per la velocitat del flux ascendent i es poden moure lliurement al llit. El RLF no presenta problemes d'obstrucció i proporciona una millor difusió del substrat dins de la biopel·lícula.

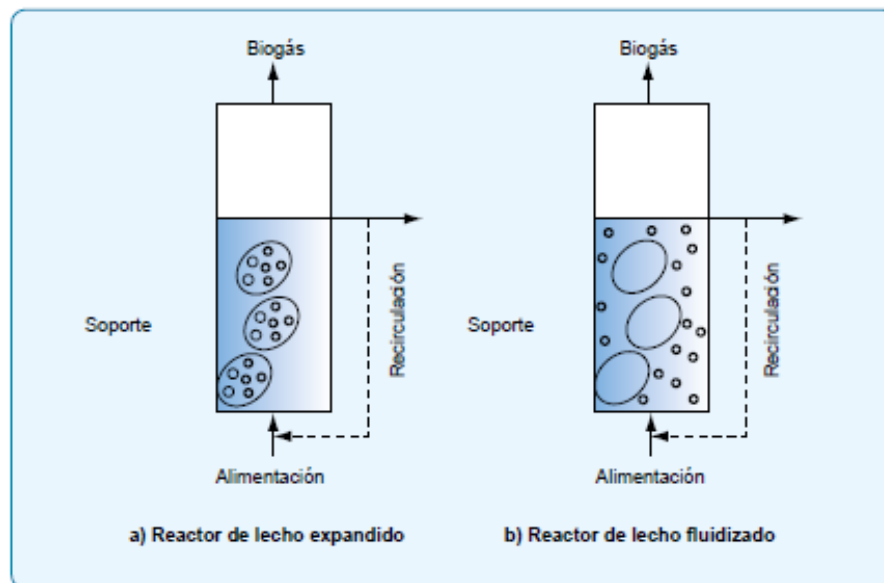


Figura 4.4. Representació esquemàtica d'un reactor de llit expandit i de llit fluïditzat .  
(Tobergte and Curtis, 2013)

#### 5) Bioreactor de membrana anaeròbic, fig.4.5.

El bioreactor de membrana anaeròbic (BMA) integra una unitat de membrana dins d'un reactor o en un circuit extern per facilitar la separació sòlid-líquid. Un BMA és capaç de retenir biomassa i pot operar a TRS extremadament llargs, independent del TRH, el qual és un pre-requisit per una operació de procés anaeròbic exitós. En l'actualitat, les membranes presenten un gran potencial en la biotecnologia anaeròbica per l'obtenció d'energies renovables.

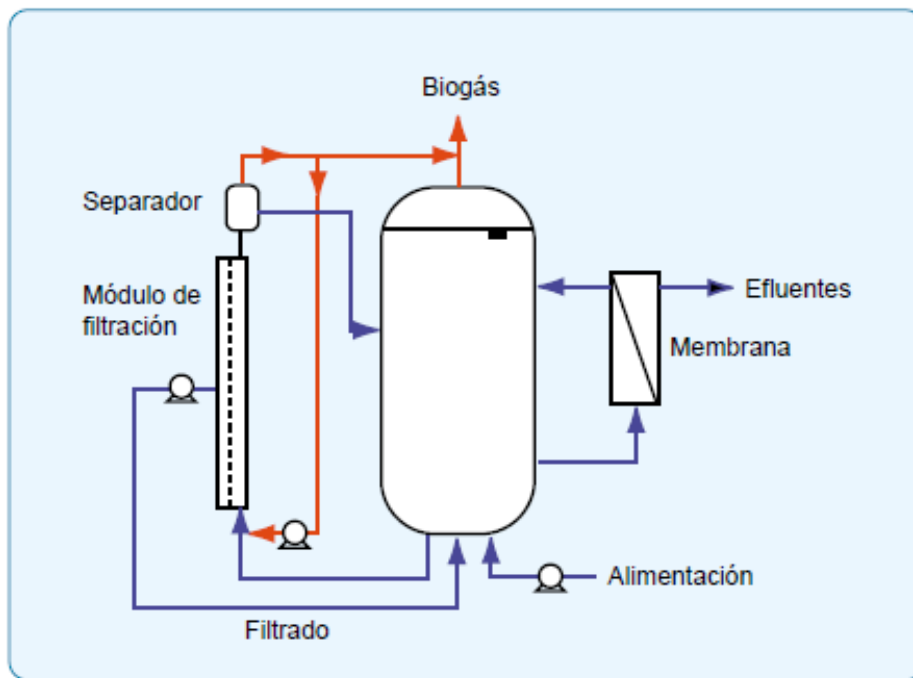


Figura 4.5. Bioreactor de membrana anaeròbic.  
(Tobergte and Curtis, 2013)

## 6) Digestor de mescla completa

Correspon al tipus de reactor més simple i pot ser sense o amb recirculació.

### a) Digestor de mescla completa sense recirculació, fig. 4.6.

Consisteix en un reactor en el que manté una distribució uniforme de concentracions, tant de substrat com de microorganismes. Això s'aconsegueix mitjançant un sistema d'agitació, que pot ser mecànic (agitador d'hèlix o pales, d'eix vertical o horitzontal) o neumàtic (recirculació de biogàs a pressió), i es realitza a velocitats baixes. Aquesta tipologia de reactor no ofereix problemes de disseny i és el més utilitzat per residus.

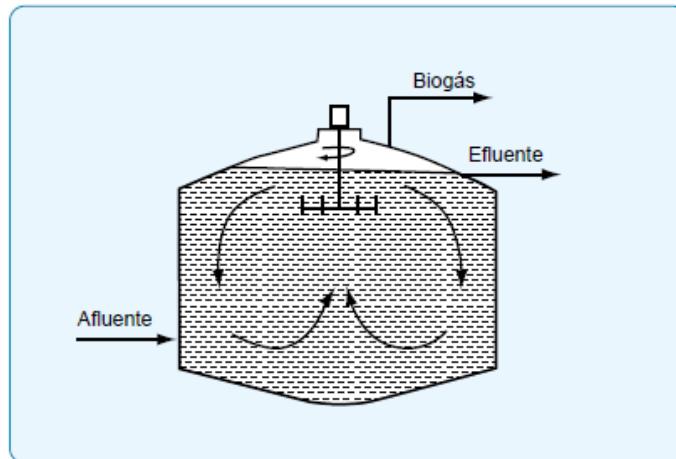


Figura 4.6. Reactor de mescla completa sense recirculació.  
(Tobergte and Curtis, 2013)

**b) Digestor de mescla completa amb recirculació, fig. 4.7.**

En aquest tipus de digestor es comprova que regulant la recirculació és possible aconseguir un temps de retenció hidràulica més baix que en un reactor simple de mescla completa, ja que augmenta el temps de retenció dels microorganismes, gràcies al seu confinament al sistema mitjançant la separació en el decantador i en la re-circulació. Degut a la separació necessària de microorganismes en el decantador, aquest sistema només és aplicable a aigües residuals d'alta càrrega orgànica (aigües residuals de sucreres, cerveseres, etc.).

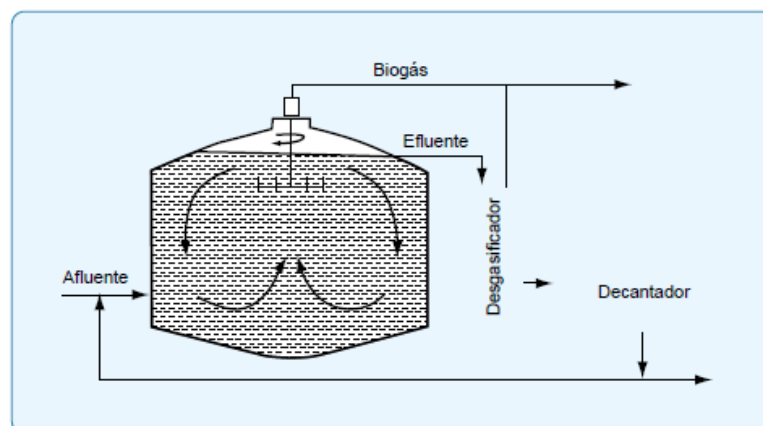


Figura 4.7. Reactor de mescla completa con recirculació.  
(Tobergte and Curtis, 2013)



## 4.2. Digestió anaeròbica destinada a la producció de biohidrogen

### 4.2.1. Biohidrogen

Les **propietats favorables** de l'hidrogen per ser utilitzat com a combustible són (Escuelas, 2004):

- Reserves pràcticament il·limitades.
- Facilitat de combustió completa.
- Baix nivell de contaminants atmosfèrics. En aquests moments, amb especial atenció a la absència de CO<sub>2</sub> entre els productes de combustió.

Simultàniament, alguns **aspectes desfavorables** que han impedit la difusió del seu ús (Escuelas, 2004):

- No existeix lliure en la naturalesa.
- Als esquemes tradicionals s'observa un balanç energètic negatiu al llarg del seu cicle de vida.
- En conseqüència del punt anterior, elevat cost de producció.
- Escassa densitat energètica per unitat de volum, que dificulta i encareix la seva manipulació.

Fins el moment els inconvenients han sigut clarament superiors als seus avantatges, pel que la seva utilització en forma de combustible és pràcticament nul·la. No obstant, diversos experts han predit que l'H<sub>2</sub> substituirà els combustibles fòssils com la pròxima generació de fonts d'energia. Això és, en part, basant-se en la natura verda de la combustió de l'H<sub>2</sub>, que resulta en la formació d'aigua. A diferència de la tecnologia madura de producció de metà a través de la digestió anaeròbica, la producció biològica d'hidrogen (bio-H<sub>2</sub>) és relativament una nova àrea d'investigació científica (Cantrell et al., 2008).

L'existència d'una gran experiència en la producció, maneig i aplicacions de l'hidrogen es deu a les seves propietats com a reactiu: la fabricació de  $\text{NH}_3$ , de fertilitzants nitrogenats i la posterior síntesis del  $\text{NO}_3\text{H}$  i els seus nombrosos derivats, junt a la creixent utilització en el refinament del petroli, són les seves aplicacions més importants.

#### 4.2.2. Digestió anaeròbica per la producció de biohidrogen

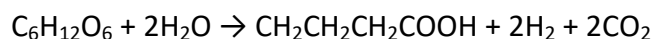
La producció biològica d'hidrogen (biohidrogen), utilitzant microorganismes, és una nova i excitant àrea de desenvolupament de la tecnologia que ofereix el potencial de producció d'hidrogen a partir d'una varietat de recursos renovables. Els sistemes biològics proporcionen una àmplia gamma d'enfocaments per generar hidrogen, i inclouen biofotòlisis directa, biofotòlisis indirecta, foto-fermentacions i fermentació fosca (Levin et al., 2004).

La fermentació fosca consisteix en la producció d'hidrogen mitjançant bacteris anaeròbics, que es cultiven a la foscor sobre substrats rics en carbohidrats. Les reaccions de fermentació poden funcionar amb temperatures mesòfiles ( $25\text{-}40^\circ\text{C}$ ), termòfiles ( $40\text{-}65^\circ\text{C}$ ), termòfilesextrêmes ( $65\text{-}80^\circ\text{C}$ ), o híper-termòfiles ( $>80^\circ\text{C}$ ). Els bacteris coneguts per produir hidrogen inclouen espècies d'*Enterobacter*, *Bacillus* *Clostridium*.

Els hidrats de carboni són el substrat preferit per a les fermentacions que produeixen hidrogen. La glucosa, els isòmers de hexoses, o els polímers en forma de midó o cel·lulosa, tenen diferents rendiments d' $\text{H}_2$  per mol de glucosa, depenent de la via de fermentació i producte final(s). Quan l'àcid acètic és el producte final, s'obté un màxim teòric de 4 mols d' $\text{H}_2$  per mol de glucosa:



Quan el butirat és el producte final, s'obté un màxim teòric de 2 mols d' $\text{H}_2$  per mol de glucosa:



A la pràctica els alts rendiments d'H<sub>2</sub> estan associats amb la fermentació d'una barreja de productes de butirat d'acetat i els baixos rendiments H<sub>2</sub> estan associats amb el propionat i els productes finals reduïts (alcohols, àcid làctic). Hi ha diversos paràmetres operacionals a tenir en compte, els microorganismes utilitzats són un dels paràmetres fonamentals.

La producció d'hidrogen és un mecanisme específic que disposa d'un excés d'electrons a través de l'activitat de l'enzim hidrogenasa als bacteris. Entre els bacteris productors d'hidrogen està el *Clostridium* sp. i l'*Enterobacter* que són les soques bacterianes més estudiades (Kothari et al., 2012).

Aquests dos grups es caracteritzen per la formació d'espores en resposta a condicions ambientals desfavorables, com la manca de nutrients o l'augment de temperatura. Algunes espècies clorostidials són capaces de degradar el midó insoluble sense tractament previ, mentre que alguns *Enterobacter* sp. degraden el midó soluble (Hawkes et al., 2002). Segons Hawkes et al. els rendiments més alts d'hidrogen per mol d'hexosa s'han trobat utilitzant *Clostridium* sp.

La disponibilitat dels nutrients també és un paràmetre important, estrictament relacionat amb els microorganismes responsables de la producció de biohidrogen. Això és degut a que com en tots els processos de fermentació es requereixen bacteris, i aquests nutrients per el seu creixement i activitat. Aquests inclouen el nitrogen (N), el fostat (P) i alguns metalls traça, tanmateix la producció també es pot inhibir per la presència de metalls pesats tòxics (Kothari et al., 2012).

El pH, la temperatura i el temps de retenció hidràulic són els paràmetres de treball més importants per obtenir una quantitat òptima d'hidrogen. El control del pH és crucial per a la producció de l'hidrogen per fermentació fosca, a causa del seu efecte sobre l'activitat de l'hidrogenasa i en les vies metabòliques. Quan el pH del medi és massa baix resulta en un cessament de la generació de l'hidrogen. Segons

l'estudi de Hawkes et al. a la literatura és força evident que, independentment del cultiu, el pH optim per a la producció de biohidrogen a partir de les aigües residuals esta dins del rang de 5'5-6'0.

Les temperatures del procés de fermentació poden funcionar en diferents condicions mesofiles, termofiles, termofiles extremes i hipertermofiles, no obstant això, és molt dificil comparar el rendiment d'hidrogen en aquests rangs de temperatura. La temperatura òptima varia depenen del substrat i altres condicions del procés. L'estudi de Kothari et al. (2012) afirma que tan sols un augment de 5°C a la temperatura podria tenir efectes perjudicials a les taxes d'hidrogen en un 25% (Levin et al., 2004).

Per acabar, comentar que el temps de retenció hidraulic (TRH) també és un dels parametres importants que afecten la produccó continua de l'hidrogen. Segons l'investigació realitzada per Kothari et al. (2012) els temps de retenció hidraulic òptim són bastant variables.

## 5. Producció de biogàs a partir dels fems i purins

A Europa les polítiques de desenvolupament sostenible impliquen sovint el tractament adequat dels fems i purins. La Directiva 1991/676/CE fomenta el reciclatge sostenible de les dejeccions animals, es refereix a la reducció de l'alliberament de nitrats procedents d'activitats agrícoles a la superfície i a les aigües subterrànies. D'altra banda, el Consell de la Unió Europea ha aprovat recentment un pla d'energia, que inclou l'objectiu d'aconseguir que un 20% del consum final d'energia a Europa en 2020 sigui d'energies renovables (Gómez et al., 2010).

L'ús de l'energia a partir de residus animals pot contribuir a aquest objectiu desafiant a Espanya que és el tercer sector ramader més gran dels països de la UE: 6,4 milions de caps de bovins (7% del total de la UE), 22,7 milions d'ovelles (19%), 2,9 milions de cabres (22%), 24,8 milions de porcs (15%), 158.200.000 d'aus de corral (15%), 2,4 milions de conills i 292.000 cavalls (Gómez et al., 2010).

Un estudi realitzat a Espanya va analitzar 4 explotacions de bestiar boví lleter considerades representatives del nord d'Espanya com a productores de llet. El residu del bestiar es va caracteritzar i el consum d'energia a les granges va ser inventariat. Es va considerar la possibilitat d'aplicar la digestió anaeròbia per minimitzar les emissions i utilitzar del biogàs produït per substituir els combustibles fòssils a la granja (Marañón et al., 2011).

Una de les primeres característiques a estudiar van ser les emissions de metà a causa de la gestió dels fems (emmagatzematge i ús com a fertilitzant), que va ser de 34 a 66kg CH<sub>4</sub> vaca<sup>-1</sup> any<sup>-1</sup> per a les vaques lleteres i de 13 a 25kg CH<sub>4</sub> vaca<sup>-1</sup> any<sup>-1</sup> per als vedells alletant. A més a més el potencial d'estalvi d'emissions de gasos d'efecte hivernacle per unitat de bestiar oscil·larien entre 978-1776 kg CO<sub>2</sub> equivalent any<sup>-1</sup>.

Per últim es va veure que el metà produït seria suficient per abastir les necessitats de calefacció del digestor utilitzat al procés d'obtenció del biogàs (35-55% del total de metà produït) i les necessitats d'energia de combustible a les explotacions agrícoles. El

metà requerit per escalfar l'aigua representa 4-11% de la quantitat produïda i la requerida per a cultius i la preparació de l'alimentació varia entre un 15-43% del total.

En base a això, en totes les quatre granges la quantitat de metà produït per digestió anaeròbia de purins de boví seria suficient per satisfer les necessitats d'energia de la granja. A les granges més petites els excedents de metà podrien ser utilitzats per proporcionar una font de calor als edificis de la granja i estables pel bestiar (Marañón et al., 2011).

Un altre investigació va proposar un enfocament per estimar els potencials dels cultius d'abonament i energia pel "*Terra dei Trulli e del Barsento*", Província de Bari. Per a aquest propòsit, 774 explotacions de bestiar boví s'han avaluat, cobrint aproximadament el 68% de les explotacions totals de la Província de Bari (Pantaleo et al., 2013).

Un total d'aproximadament 236.000 tones de fems a l'any podrien estar disponibles per a la digestió anaeròbia en el territori d'estudi, que correspon a 89GWh any<sup>-1</sup> d'energia primària. Es va veure a l'avaluació dels potencials d'energia que aquests concentren un poder acumulatiu que podria ser instal·lat en l'àrea d'estudi, respectivament, de 3,5 MW, 5,1MW i 8,3MW el cas de petites plantes d'energia (50 kW) alimentat pel fems de bestiar. Aquests valors es converteixen, respectivament, en 4 MW, de 5 MW i 9 MW en el cas de grans plantes (1 MW) (Pantaleo et al., 2013).

No obstant l'alt potencial dels fems per l'obtenció del biogàs en alguns estudis, a causa d'un desequilibri de nutrients i inhibició de l'amoníac els resultats a vegades esbrinen un baix rendiment. En general això ve degut a que els fems contenen un alt contingut de nitrogen: fems de cabra fresc (1,01%), fems de pollastre (1,03%) i fems de porc (0,24%). Els fems del bestiar poden ser utilitzats per equilibrar la relació C/N dels residus, i per obtenir un pH adequat durant la digestió anaeròbica amb la producció d'amoníac (Mao et al., 2015).

Per tant, molts estudis s'han centrat en diversos processos de digestió anaeròbia, és a dir, aquells per a la co-digestió de fems amb altres residus orgànics, que eviten els efectes adversos dels fems del bestiar, els resultats es poden veure recollits a la Taula 5.1. (Mao et al., 2015).

Taula 5.1. Procés de digestió anaeròbica del fem del bestiar (Mao et al., 2015)							
Feedstock	Substrate	ADT (°C)	AD (d)	Stage	Reactor	BP (mL/g VS)	MP (mL/g VS)
DM <sup>a</sup>	Co-digested with straw residues of mixing ratios at 1:9, 3:7, 5:5, 7:3 and 9:1, 8.0% of TS content, with a OLR of 3.2 g/L every two days [134]	35	40	Single	Semi-continuous digester	220–525 mL/d	
	Co-digested with SM <sup>b</sup> , photo-dark, 8% of TS content [135]	35 ± 2	35	Single	Batch digester	15,447.5 mL (cumulative)	
	15 Days of HRT, 1 atm of operating pressure [80]	55	190	Single	Semi-serial CSTR	11% higher than a single CSTR	
	Filtrate through a1-mm sieve, 22.5 days of HRT [136]	55	12	Single	UASB		300 (mL/g COD)
	Co-digested with fruit and vegetable wastes 50:50 (wet weight) at 5.01 kg VS/m <sup>3</sup> /d, 21 days of HRT [137]	35	56	Single	CSTR		450
	SM with mechanical (separation of liquid and solid matrix by using a 0.25 mm pore size screen), chemical (flocculant agent and strong chemicals), and thermal (170 °C for 30 min) pretreatments, a ratio substrate COD/inoculum VS of 0.6 [138]	32	30–60	Single	Batch digester		212–412 (mL/g COD)
	SM with ammonia concentration of 6 g-N/L, 15 days of HRT	37		Single	CSTR		188
	Addition of 1.5% (w/w) activated carbon, 10% (w/w) glauconite or 1.5% (w/w) activated carbon and 10% (w/w) glauconite [66]	55	60	Single	Batch digester		An increase to 126,90, 195
GM <sup>c</sup>	80% SM co-digested with glycerine [66]	35	30	Single	Batch digester		215 (mL/g COD)
	Co-digested with corn stalks and rice straw (30:70 and 70:30), 8% of TS content [27]	35 ± 1	55	Single	Batch digester	14,840–16,023 mL (cumulative)	
PM <sup>d</sup>	Mixture of llama-cow-sheep manure, the maximum OLR value of 4 to 6 kg VS/m <sup>3</sup> /d [139]	18,25	100	Single	Semi-continuous batch digester		47 to 55%
	Removed ammonia CM <sup>e</sup> used a rotary evaporator with an ammonia-stripping unit 55 °C and pH 8, biogas recycle [140]	55 ± 2	20	Single	Batch digester		195
	Semi-solid (10% TS) ammonia stripped CM co-digested with agricultural wastes (7:3), substrate to inoculum ratio of 1:3(V/V) [141]	55 ± 2	165	Single	Semi-continuous batch digester		695
	A 10% fraction of PM co-digested with SM and sewage sludge (10:20:70) (w/w) at feed VS of 42.95 g/kg and SRT of 15 days [142]	35 ± 1	90	Single	Semi-continuous batch digester	336	

En els últims anys, els països desenvolupats també han estudiat la captura de metà a partir de les dejeccions animals, la diferència és que l'impuls ha estat en digestors a gran escala operats amb tecnologia de digestió 'd'alta velocitat' anaeròbica. S'ha de destacar l'enorme potencial de captura de metà, que encara no s'ha utilitzat, i els possibles beneficis de la utilització de la mateixa (Tauseef et al., 2013). On es poden destacar els següents avantatges (Salomon and Silva Lora, 2009):

- (1) La generació descentralitzada;
- (2) La possibilitat d'ingressos addicionals, venda de biogàs a serveis públics d'energia;
- (3) Possibilitat d'utilitzar processos de cogeneració;

- (4) Reducció de les emissions de metà a l'atmosfera, atès que aquest és un important gas d'efecte hivernacle;
- (5) Reducció d'olors, etc.

## 5.1. Situació a Espanya

Pel que fa el biogàs agro-industrial (generat mitjançant la descomposició microbiològica de matèria orgànica biodegradable en condicions anaeròbies), Espanya és un dels països amb menys instal·lacions. Respecte a l'any 2013 Espanya va avançar una posició entre les estadístiques que publica anualment la EBA.

En aquell any ocupava la 19<sup>a</sup> posició amb 31 plantes de biogàs agro-industrial i en 2014 va passar a ser 18<sup>a</sup> amb 39 (fig. 5.1.). No obstant ni tan sols arriba al grup de països que sobrepassen les 50 instal·lacions, como Letònia (59) i Portugal (66), i molt lluny d'Alemanya (10.786) i Itàlia (1.491), aquestes dades s'extreuen del informe estadístic de 2014 de l'EBA.

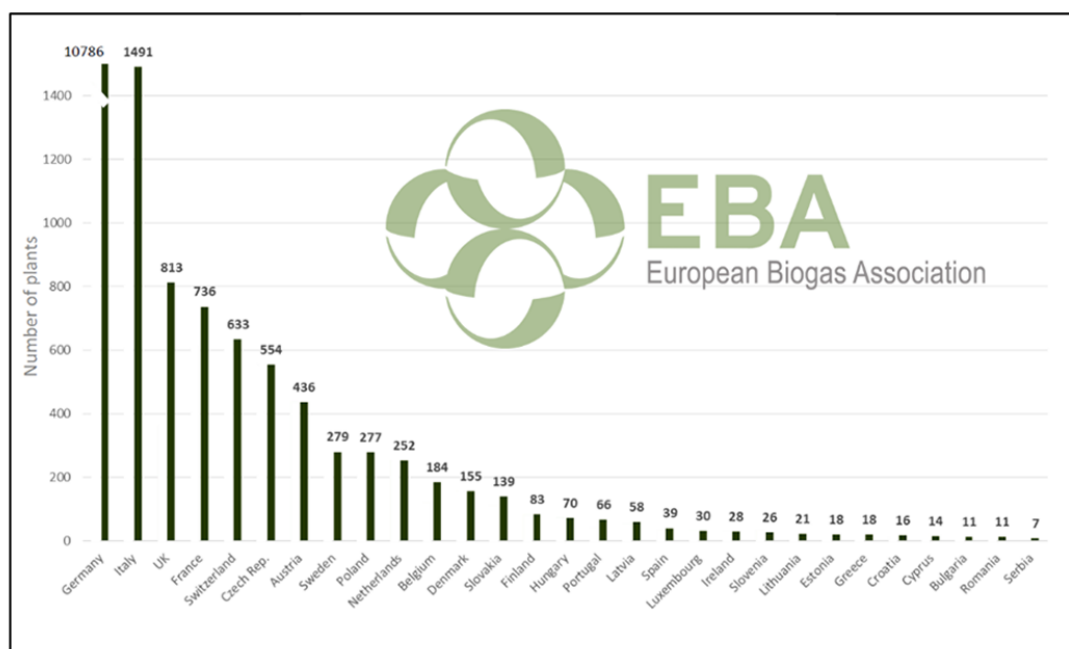


Figura 5.1. Plantes de biogàs agro-industrial a Europa (EBA - European Biogas Association, 2016)



Tot i que Espanya no és un dels països que més esta treballant amb plantes de biogàs agro-industrials, és un país amb molt potencial, especialment en el sector de la ramaderia amb la cria d'animals, a la taula 5.2. es veu reflectit el potencial del biogàs a partir de fems i purins a Espanya (Biogás, 2010).

Taula 5.2. Potencial de producció de Biogàs de fems i purins de la ramaderia intensiva (Biogás, 2010)			
Espècie ramadera	Fems (Tn/any)	Producció de biogàs (m <sup>3</sup> /Tnfems)	Producció total (m <sup>3</sup> /any)
<b>Boví</b>			
Vaques de llet	18.476.328,00	24,00	443.431.872,00
Esquer	8.037.044,50	48,00	385.778.136,00
Total boví	26.513.372,50	31,28	829.210.008,00
<b>Avicultura</b>			
Aus ponedores	714.707,10	95,00	67.897.174,50
Broilers	1.020.765,70	130,00	132.699.540,82
Total avicultura	1.735.472,80	115,59	200.596.715,13
Espècie ramadera	Purins (m <sup>3</sup> /any)	Producció de biogàs (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> purins)	Producció total (m <sup>3</sup> /any)
<b>Porcí</b>			
Truges	12.303.940,00	8,00	38.431.520,00
Garrins(6-10)	2.538.134,52	10,00	25.381.345,20
Esquers (20-100 kg)	31.118.437,80	12,00	373.421.253,60
Total porcí	45.960.512,32	10,82	497.234.118,80
<b>Total ramaderia</b>	<b>74.209.357,62</b>	<b>20,58</b>	<b>1.527.040.842,12</b>

## 5.2. Plantes de biogàs a partir de dejeccions a Espanya

### 1. Grupo San Ramón, Finca La Bonora - Valencia (Granja San Ramón, 2016)

La granja San Ramón va apostar per la instal·lació d'una planta de biogàs, veure figura 5.1., per l'aprofitament de les dejeccions animals de la seva explotació. Aquesta permet, mitjançant un procés de digestió anaeròbia, l'obtenció de biogàs que



Figura 5.1. Planta de biogàs granja San Ramón (Granja San Ramón, 2016)

s'utilitza per la generació d'energia elèctrica. Les dejeccions són recollides de manera automàtica de les naus d'estabulació i bombejades fins la planta, on s'obtenen energia elèctrica i energia tèrmica per cogeneració.

### 2. Bioenergia Ultzama, Ultzama – Navarra (Asociación de Productores de Energías Renovables, 2011)

La instal·lació disposa d'un sistema capaç de transformar en energia els purins procedents de 3.000 vaques de 33 explotacions del propi termini i els annexes Odieta i Basaburua. A partir de la planta es genera energia elèctrica i tèrmica (vapor + aigua calenta per consum), funciona 1000 hores a l'any i té una potència instal·lada de 0,5MW.

### 3. Torregrossa, Pla d'Urgell – Lleida (Catalunya) (SOMenergia, 2015)

La instal·lació és una planta de valorització de purins i altres subproductes orgànics o planta de biogàs en una explotació ramadera. Una instal·lació on es barregen els purins amb matèria orgànica d'origen industrial (bàsicament es realitza una digestió anaeròbica controlada). El biogàs es valoritza en un equip de cogeneració i el resultat final és energia elèctrica i tèrmica d'origen renovable.

La major part de l'electricitat generada serà exportada fins la xarxa elèctrica de distribució. La part d'energia tèrmica o calor produït s'utilitzarà per escalfar els digestors, el sistema de pasteurització i una part de la resta s'utilitza com a calefacció per la granja. La inversió total del projecte és aproximadament de 2.163.000 €. El cost de manteniment representa el 36% sobre els ingressos, que són de 480.000 - 624.000 €.



## 6. Producció de biohidrogen a partir de fems i purins

La producció d'hidrogen a través de la fermentació fosca pot utilitzar residus orgànics com a substrats, motiu que la converteix en la forma més ecològica de producció, però encara queda per delimitar moltes variables de manera concisa. Als últims anys, a escala de laboratori, han augmentat els treballs experimentals utilitzant varis substrats per la producció de biohidrogen, no obstant els relacionats amb els fems i purins encara són escassos. A continuació es comenten els resultats obtinguts en aquests estudis.

Xiao Wu (2009) va realitzar dos treballs sobre la producció de biohidrogen a partir de purins com a substrat suplementat amb glucosa (10 g/L). En el seu primer treball es va enfocar a l'estudi del temps de retenció hidràulica (TRH) òptim per la producció d'hidrogen. Va utilitzar un reactor discontinuo seqüencial anaeròbic (ASBR) a  $37\pm 1^{\circ}\text{C}$  i un pH de 5,0 amb diferents temps de retenció hidràulic, la disminució de la TRH de 24 a 8h va causar un augmenten la producció d'hidrogen de 0,05 a 0,15 L/h/L i el rendiment d'hidrogen va oscil·lar entre 1,18 i 1,63 mol de  $\text{H}_2$ /mol de glucosa. Finalment es va preferir 12h TRH per una alta velocitat de producció i rendiment eficient.

En el seu segon treball Xiao Wu (2010) es va centra en l'estudi del pH òptim utilitzant el mateix substrat anterior, amb les mateixes condicions i reactor. Segons aquest autor, per mantenir la producció d'hidrogen estable durant un període prolongat, el pH havia de ser controlat a un interval òptim, ja que la variació d'aquest podria provocar una alteració metabòlica dels microorganismes implicats en la producció d'hidrogen, el que resulta en el canvi de la via de la producció de productes intermedis i com a conseqüència una disminució de la producció d'hidrogen.

Alguns investigadors afirmen que aquest canvi es produïa quan el pH es reduïa per sota de 4,5, mentre que altres van trobar que el canvi es produïa a nivells de pH per sobre de 5,7. Mentrestant, els valors de pH òptims per a diferents sistemes o substrats

variaven sempre entre 4,0-6,5, però per a cada situació específica, l'interval de pH òptim era bastant estret (generalment dins de 0,5) (Wu et al., 2010).

Xiao Wu (2010) va trobar que el pH va tenir un profund impacte en el procés de fermentació d'H<sub>2</sub> amb purins de porc com a substrat en un reactor ASBR. Determinant que el pH òptim per a aquest sistema era de 5,0, ja què en aquest punt la producció d'hidrogen no només es va posar en marxa de forma més estable i eficient, també va presentar significativament una velocitat més alta de producció de 2,25 L/d/L i un 36,9% en contingut d'H<sub>2</sub> en estat estacionari en comparació a altres condicions de pH (és a dir, 4.4, 4.7, 5.3 i 5.6).

Un altre estudi (Zhu et al., 2009) utilitzant purins de porc com a substrat suplementat amb glucosa va ser investigat, amb l'objectiu de conèixer el pH i el TRH òptim alhora. Els experiments es van dur a terme utilitzant un reactor BATCH alimentat amb diferents valors de pH i a una temperatura controlada de 35±1°C. El temps de retenció hidràulic (TRH) provats inclouen 16, 20, i 24 h; però, en dues condicions de pH (5,0 i 5,3), també es va intentar una TRH addicional de 12 h.

Els resultats van indicar que tant el TRH com el pH tenien profundes influències sobre la productivitat d'hidrogen fermentatiu. Un augment de la TRH conduiria a una major variació en la concentració d'hidrogen i la millor TRH es va trobar que era de 16h. El millor valor de pH corresponent a la generació d'hidrogen més alt va ser de 5,0 (fig. 6.1.), mateix pH trobat a l'estudi de Xiao Wu.

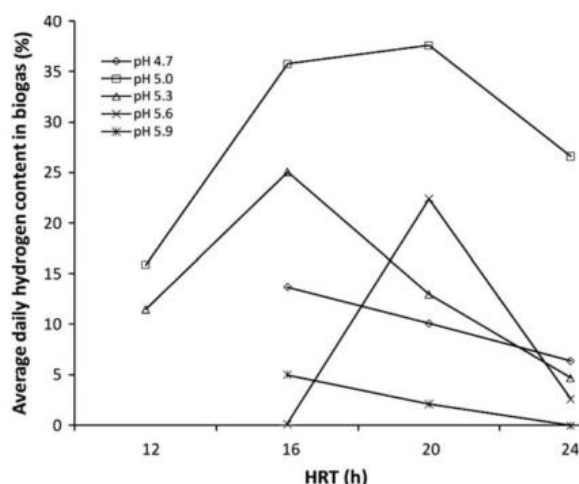


Figura 6.1. Concentració mitjà de biohidrogen diària en el biogàs a diferents valors de TRH. (Zhu et al., 2009).

Per últim comentar un estudi (Fan et al., 2004) sobre la producció de biohidrogen per microbis anaeròbics realitzat a partir de fems de vaca amb un mitjà de sacarosa artificial. En aquest estudi, es van seleccionar nivells inicials de pH i es van realitzar 15 experiments, que es van dur a terme per avaluar els paràmetres de la generació d'hidrogen. Els resultats van mostrar que: la concentració de sacarosa de  $4,0 \pm 0,5$  g/l i el pH de  $5,4 \pm 0,2$  eren òptimes per els compostos, tenint en compte el seu potencial específic de producció d'hidrogen (90 ml / g de sacarosa) i la taxa de producció d'hidrogen (5,5 ml/h) al mateix temps .

En la taula següent es recullen les condicions i els resultats obtinguts en aquests estudis.

Taula 6.1. Resultats dels articles comentats						
Treballs	Característiques de l'estudi					Resultats
	Matèria primera	Reactor	Temperatura (°C)	pH	TRH (h)	
(Wu et al., 2009)	Purins de porc suplementat amb glucosa	ASBR	$37 \pm 1$	5,0	8-24	1,18-1,63 mol H <sub>2</sub> / mol glucosa)
(Wu et al., 2010)	Purins de porc suplementat amb glucosa	ASBR	$37 \pm 1$	5,0	12	1,50 mol H <sub>2</sub> / mol glucosa)
(Zhu et al., 2009)	Purins de porc suplementat amb glucosa	Anaeròbic de flux ascendent	$35 \pm 1$	5,0	16	9,81 l H <sub>2</sub> / 6l purins
(Fan et al., 2004)	Fems de vaca amb un mitjà de sacarosa artificial (6g/l)	Batch	$36 \pm 1$	$5,4 \pm 0,2$	-	5,5 ml H <sub>2</sub> /h





## 7. Cas d'estudi

### 7.1. Situació

La granja a estudiar es situa a la comarca d'Osona a la població d'Oristà, Catalunya i es denomina **Vila-Roger**. A la figures 7.1. i 7.2. es pot observar la localització de la comunitat autònoma de Catalunya i la comarca on té lloc l'estudi i a la figura 7.3. es veu amb més detall la situació de l'explotació ramadera a Oristà.



Figura 7.1. Mapa de Catalunya (Google maps)



Figura 7.2. Mapa de la Comarca d'Osona, Catalunya (Google maps)



Figura 7.3. Mapa localització Vila-Roger, Oristà (Google maps)

## 7.2. Capacitat de la granja d'estudi

A la figura 7.4. es veu amb més detall la situació de les diferents granges de l'explotació ramadera, que consta de:

- (1) 1 granja de vedells: 139 vedells.
- (2) 1 granja de porcs: 700 porcs.
- (3) 1 corral d'ovelles i cabres: 133 ovelles i 7 cabres.
- (4) 1 corral de gallines i conills: 41 gallines i 22 conills.
- (5) 1 dipòsit pels fems.
- (6) 1 bassa pels purins.

Tot i que es podria realitzar un estudi sobre la producció de biocombustibles incloent tots els animals citats anteriorment, en el cas d'aquest treball es tractaran només els purins dels porcs i els fems dels vedells. Com es pot veure a la figura 7.2. tant la recollida dels fems com la dels purins es fa just al costat de cada granja, per evitar haver de desplaçar les dejeccions de lloc.

Aquesta decisió s'ha pres degut a que hi ha una quantitat petita i contínuament variable dels altres animals (ovelles, cabres, gallines i conills), això fa que per la realització d'un estudi a llarg termini sigui molt difícil de comptabilitzar les seves

dejeccions i la producció de biocombustible que podrien aportar. A part de ser animals molt més petits i per tant produir molt menys dejeccions comparat amb els vedells i porcs.



Figura 7.4. Instal·lacions Vila-Roger (Google maps)

**Granja de vedells (fig. 7.5.):**

Es tracta d'una granja d'engreix on els vedells arriben amb 3-4 mesos d'edat (aproximadament 200 kg per vedell) i són enviats a l'escorxador abans de completar un any (aproximadament 500 kg per vedell), les característiques de la granja són les següents:





Figura 7.5. Granja de vedells

- La granja de vedells té capacitat per a 139 vedells, però la mitjana normal de vedells és de 104 (fig. 7.6.). Sent sempre una meitat (52 vedells) de cria i l'altre meitat d'engreix.
- El bestiar és alimentat amb pinso i palla, entre 5-10 kg de pinso/dia per vedell i entre 0,7-1 kg palla/dia per vedell .



Figura 7.6. Vedells a la granja.

- A cada 14 dies es recullen 15 Tn de fems de la granja, que estan compostats per la dejecció dels animals i per palla, aquesta barreja és depositada al femer (fig.8.7.), que té un volum de 488 m<sup>3</sup>.

- La palla que es barreja als fems és la que es posa per tal de que els vedells puguin jaure amb comoditat i s'utilitzen 4 bales de 250 kg a la setmana.



Figura 7.7. Femer.

#### **Granja de porcs:**

La granja de porcs així com la de vedells esta destinada a l'engreix. Els porcs entren a la granja amb un 1 mes d'edat (pesant aprox. 20 kg) i estan a la granja 4 mesos (arribant aprox. a 100 kg). En aquest cas es fa una selecció entre els porcs per tal de triar el seu destí.

Per tal de seleccionar els porcs el que es fa és una anàlisis de sang a porcs triats a l'atzar a cada nau, les naus d'on surten els porcs amb la anàlisis més correcte són destinats a la cria i l'altre part s'envia a l'escorxador. Les característiques de la granja són les següents:

- La granja consta de 7 naus amb capacitat per 88 porcs, un total de 616 porcs, fig. 8.8..
- Els porcs s'alimenten de pinso, entre 1 i 3 kg de pinso al dia per porc.





Figura 7.8. Granja de porcs.

- Cada nau durant el temps d'engreix (4 mesos) produeix  $40\text{m}^3$  de purins. Aquests són emmagatzemats en un dipòsit de  $50\text{m}^3$ , existent sota a cada nau durant el període d'engreix, un cop passat els mesos d'engreix es buiden els dipòsits i els purins són emmagatzemats en una bassa (fig.7.9.).

La bassa té un volum de  $96\text{m}^3$ , per tant les naus es buiden de dues en dues i un cop s'ha fet servir els purins de la bassa es torna a omplir amb dues naus més i així continuadament fins que els dipòsits de les naus estiguin buits per la pròxima entrada de porcs.



Figura7.9. Bassa de purins.

### 7.3. Utilització actual dels fems i purins

Actualment tant els purins com els fems de Vila-Roger són utilitzats com adob per els seus camps i alguns camps veïns. La utilització d'aquest tipus d'adob ha de respectar el Decret 136/2009 (DOGC, 2009) per tal de que no contaminei el sòl i d'aquesta manera les aigües subterrànies amb l'alt contingut de nitrogen que porten els fems i els purins, veure apartat 2.

Segons el Decret 136/2009, article 5: *“A les zones vulnerables la quantitat màxima de nitrogen procedent de les dejeccions ramaderes i altres fertilitzants orgànics que es pot aplicar és de 170 kg N/ha i any.”* És en base aquesta normativa que es controla la quantitat exacte d'animals permesos a les granges.

Per tal d'assegurar que tant Vila-Roger com altres granges ramaderes segueixin la normativa abans de la inicialització de qualsevol explotació animal el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya, redacta un informe tècnic sobre el pla de gestió de les dejeccions (Annex1). En aquest informe, entre altres coses, s'estipula la quantitat d'animals permesos, basant-se amb la quantitat de nitrogen de les seves dejeccions i les hectàrees on s'aplicarà l'adob (taula 7.1.).

Taula 7.1. Nitrogen generat a l'explotació ramadera (Annex 1)					
Bestiar		Capacitat de bestiar registrat	Generació de nitrogen (kg/any)	Volum de fems (m <sup>3</sup> /any)	Volum de purins (m <sup>3</sup> /any)
Vedells	De cria	69	531	60	-
	D'engreix	69	1.999	345	-
Porcs		700	3.045	-	1.505

Per realitzar aquestes estimacions també es tenen en compte el pinso que menjaran els animals, ja que aquest també influeix en la quantitat de nitrogen que tindran les dejeccions.

#### **7.4. Nova utilització pels fems i purins: producció de biogàs**

Es proposa un projecte per anar més enllà de la utilització de fems i purins com adob, sinó també fer d'aquest residu una font d'energia, aplicar-lo a la producció de biogàs, amb l'objectiu de que aquest biogàs pugui abastir totes les necessitats d'energia a la granja. Per estudiar la viabilitat d'aquesta proposta es tindrà en compte els següents punts:

**1)** Característiques de l'explotació ramadera a partir de la producció actual: quantitat de dejeccions anuals, tant per fems com per purins.

**2)** Necessitats energètiques de les granges.

**3)** Plantejament d'hipòtesis:

Hipòtesi 1: Obtenció de biogàs a partir dels fems.

Hipòtesi 2: Obtenció de biogàs a partir dels purins.

Hipòtesi 3: Obtenció de biogàs a partir de la barreja de fems amb purins.

On es tindrà en compte:

**a)** La viabilitat de la matèria prima com a productora de biogàs: relació C/N;

**b)** La quantitat produïda de biogàs.

**4)** Avaluació de les hipòtesis.

**5)** Estudi de la instal·lació:

**a)** Viabilitat econòmica.

**b)** Viabilitat d'instal·lació.

**c)** Beneficis ambientals.



### 7.4.1. Característiques de l'explotació ramadera

#### a) Producció de fems:

Com s'ha comentat al punt 7.2. es generen 15 Tn cada 14 dies:

$$\frac{15Tn}{14dies} \cdot \frac{365dies}{any} = 391,071 \frac{Tn}{any} = 391.071 \frac{kg fems}{any}$$

#### b) Producció de purins:

Com s'ha comentat al punt 8.2. una nau de 88 porcs genera 40 m<sup>3</sup> de purins en el temps de 4 mesos, sent el total de 616 porcs:

$$616 porcs \cdot \frac{40m^3 purins}{4mesos \cdot nau} \cdot \frac{1nau}{88 porcs} \cdot \frac{12 mesos}{1 any} = 840 \frac{m^3 purins}{any}$$

Per conèixer aquesta dada en kg es necessita la densitat, per això s'ha realitzat 3 pesades de 500ml de purins, taula 7.2., obtenint la densitat d'aquests, que seria de 1,01 g/cm<sup>3</sup>, per tant, ja es pot realitzar el càlcul.

Taula 7.2. Densitat dels purins de Vila-Roger			
Nº	Mostra pes en cm <sup>3</sup>	Mostra pes en g	Densitat (g/cm <sup>3</sup> )
1	500	503,8	1,0076
2	500	506,2	1,0124
3	500	505,3	1,0106
			<b>1,0102</b>

$$840 \frac{m^3 purins}{any} \cdot \frac{1,0102g}{cm^3} \cdot \frac{1000000cm^3}{1m^3} \cdot \frac{1kg}{1000g} = 848.568 \frac{kg purins}{any}$$

c) Resum càlculs (taula 7.3.):

Taula 7.3. Dades producció de fems i purins	
Tipus de dejeccions	Dejeccions en Kg/any
Fems	391.071
Purins	848.568

#### 7.4.2. Necessitats energètiques de les granges

La necessitat energètica de les granges de Vila-roger són bàsicament pel:

- Bombeig de l'aigua:

L'aigua pel consum dels animals és bombejada des d'una font situada a 1km amb un desnivell de 100m i és emmagatzemada a un dipòsit, la bomba utilitzada consumeix 1,1kWh cada 1000L d'aigua bombejada. El dipòsit es troba a un nivell superior al de les granges, per tant un cop l'aigua arriba al dipòsit es distribueix per un sistema de canonades.

A partir de la quantitat d'aigua consumida pel bestiar i la dada respecte al consum de la bomba (1,1 kW /1000L d'aigua) es pot conèixer quin és el consum total d'energia utilitzada per bombejar l'aigua. En el cas dels vedells de cria i d'engreix la quantitat d'aigua consumida és de 25 L/dia i 41 L/dia respectivament, i en el cas dels porcs de 18 L/dia (Duarte, 2011) i (Lopez-brea, 1996).

Càlculs (taula 7.4.):

Energia del bombeig d'aigua pels vedells:

$$52 \text{ de cria} \cdot \frac{25 \text{Laigua}}{\text{dia}} \cdot \frac{365 \text{dies}}{1 \text{any}} \cdot \frac{1,1 \text{kWh}}{1000 \text{Laigua}} = 522 \frac{\text{kWh}}{\text{any}} \text{ de cria}$$

$$52 \text{ d'engreix} \cdot \frac{41 \text{ Laigua}}{\text{dia}} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}} \cdot \frac{1,1 \text{ kWh}}{1000 \text{ Laigua}} = 856 \frac{\text{kWh}}{\text{any}} \text{ d'engreix}$$

Energia del bombeig d'aigua pels porcs:

$$616 \text{ porcs} \cdot \frac{18 \text{ Laigua}}{\text{dia}} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}} \cdot \frac{1,1 \text{ kWh}}{1000 \text{ Laigua}} = 4.452 \frac{\text{kWh}}{\text{any}} \text{ porcs}$$

Taula 7.4. Consum del bombeig d'aigua					
Bestiar		Aigua consumida per unitat de bestiar		Factor de conversió	Consum (kWh/any)
Vedells	38 de cria	25 L/dia	9000 L/any	1,1kWh =1000L	522
	38 d'engreix	41 L/dia	14.760 L/any		856
616 porcs		18 L/dia	6.480 L/any		
					5830

▪ Electricitat:

Pel que fa el consum d'electricitat per l'enllumenat, aquest varia d'acord amb el tipus de bombetes utilitzades en cada granja i la freqüència amb la qual s'encenen, taula 7.5.. En el cas de la granja de vedells hi han instal·lades 10 bombetes de 40W cada una, però el consum és mínim degut a que la granja rep molta llum natural durant el dia. Als mesos d'estiu (juliol, agost i setembre) el consum és zero, en canvi als mesos d'hivern s'encenen els llums al vespre quan se'ls hi dona menja, l'equivalent a 15 minuts diaris.

Pel que fa la granja de porcs, aquesta és força més tancada motiu pel qual l'enllumenat s'utilitza durant tot l'any i igual que en el cas dels vedells només alhora de donar-los menja, també és l'equivalent a 15 minuts diaris. A més a més al ser 7 naus les quals s'han d'alimentar, el pinso es reparteix mitjançant un "vis-sense-fi" que funciona durant 100min/dia, aquest sistema va equipat amb dos motors de 2CV de potència cada un, sabent que 1CV són 0,75kW, el consum de cada un d'aquests motors correspondrien a 1,5kW.

Càlculs (taula 7.5):

Enllumenat granja de vedells:

$$(10 \text{fluorecents} \cdot 40W) \cdot \frac{1kW}{1000W} \cdot \frac{9\text{mesos}}{1\text{any}} \cdot \frac{30\text{dies}}{1\text{mes}} \cdot \frac{15\text{min}}{1\text{dia}} \cdot \frac{1h}{60\text{min}} = 27 \frac{kWh}{any}$$

Enllumenat granja de porcs:

$$(7 \text{fluorecents} \cdot 100W) \cdot \frac{1kW}{1000W} \cdot \frac{12\text{mesos}}{1\text{any}} \cdot \frac{30\text{dies}}{1\text{mes}} \cdot \frac{15\text{min}}{1\text{dia}} \cdot \frac{1h}{60\text{min}} = 63 \frac{kWh}{any}$$

Taula 7.5. Consum elèctric			
Granja	Enllumenat	Temps d'utilització	Consum (kWh/any)
De vedells	10 fluorecents de 40W	15min/dia durant 9 mesos a l'any	27
De porcs	7 bombetes de 100W	15min/dia durant tot l'any	63
			<b>90</b>

Càlculs (taula 7.6):

Maquinaria granja de porcs:

$$(2 \text{motor} \cdot 1,5kW) \cdot \frac{12\text{mesos}}{1\text{any}} \cdot \frac{30\text{dies}}{1\text{mes}} \cdot \frac{100\text{min}}{1\text{dia}} \cdot \frac{1h}{60\text{min}} = 1.800 \frac{kWh}{any}$$

Taula 7.6. Consum maquinaria de la granja			
Granja	Maquinaria	Temps d'utilització	Consum (kWh/any)
De porcs	Vis- sense- fi amb 2 motors de 1'5kW	100min/dia durant tot l'any	<b>1.800</b>

Per tant el **consum total** d'energia de les dos granges són de:

$$(5.830_{\text{bombeig}} + 90_{\text{enllumenat}} + 1.800_{\text{maquinaria}}) \frac{kWh}{any} = 7.720 \frac{kWh}{any}$$

### 7.4.3. Plantejament d'hipòtesis

#### Hipòtesi 1:

En aquesta primera hipòtesi el que es planteja és la utilització de **100% de fems** per la producció de **biogàs**.

#### a) Relació C/N dels fems

Per tal de saber si la producció de biogàs a partir dels fems és viable s'ha de conèixer la relació C/N, comentada a l'apartat 4.1.. La relació d'aquests dos elements (carboni i nitrogen) en la matèria prima es considera òptima a un rang de 30:1 fins a 20:1 (Tobergte and Curtis, 2013).

Segons l'estudi (Tobergte and Curtis, 2013) es pot calcular la relació C/N aplicant la següent formula:

$$(1) K = \frac{C1 \cdot Q1 + C2 \cdot Q2 + \dots \dots Cn \cdot Qn}{N1 \cdot Q1 + N2 \cdot Q2 + \dots \dots Nn \cdot Qn}$$

K = C/N de la matèria prima.

C = % de carboni orgànic en cada matèria prima (Tobergte and Curtis, 2013).

N = % de nitrogen orgànic en cada matèria prima (Tobergte and Curtis, 2013).

Q = Pes de cada matèria, expressat en kg.

Tant el percentatge de carboni orgànic com el de nitrogen orgànic en la matèria prima ens troba a la taula 4.5. a l'apartat 4.1., pel cas dels fems aquests valors són: C= 30% i N= 1,30%. Amb aquestes dades ja es pot conèixer la relació C/N dels fems, com no hi ha barreja de matèries la formula es simplifica a:

$$(2) K = \frac{C}{N}$$

per tant:

$$K = \frac{0,3}{0,013} = 23,08 \rightarrow \frac{C}{N} = 23:1$$

Com es pot veure la relació C/N dels fems esta a dins dels rang òptim:

$$20:1 < 23:1 < 30:1$$

Aleshores es pot considerar que **l'obtenció de biogàs a partir dels fems és possible.**

**b) Producció de biogàs:**

Primer el que s'ha de tenir en compte és la quantitat total de fems que es destinarà a la producció de biogàs, taula 7.3.: 391.071 kg fems/any.

Un cop ja es coneix el valor total de fems ja es pot calcular quina producció s'obtindrà, per tal de calcular la quantitat de biogàs generada s'utilitzarà la formula extreta de la *"Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás"* realitzada per la UPME (Tobergte and Curtis, 2013):

$$(3) \text{PG} \left( \frac{l}{dia} \right) = MPC \cdot SO \cdot P$$

PG = Gas produït en litres per dia

MPC = Fems en kilograms per dia

SO = Percentatge de matèria orgànica del fem segons l'espècie

P = Producció aproximada de m<sup>3</sup> gas/ kg de massa orgànica seca total

El valor de "SO" i "P" s'obtenen a partir de l'estimació realitzada per la guia citada anteriorment , que pel cas dels fems és de: SO= 13% i P= 0,25 m<sup>3</sup> gas/ kg SO

$$\text{PG} \left( \frac{l}{dia} \right) = \frac{391.071 kg fems}{any} \cdot \frac{1 any}{365 dies} \cdot 0,13 \frac{kg SO}{kg fems} \cdot \frac{0,25 m^3 gas}{kg SO} \cdot \frac{1000 l}{1 m^3}$$

$$\text{PG} \left( \frac{l}{dia} \right) = 34.821 \frac{l}{dia} \text{ de biogàs}$$

## Hipòtesi 2:

En aquest cas el que es planteja és la utilització de **100% de purins per la producció de biogàs**.

### a) Relació C/N dels fems

Tal i com s'ha estudiat a la hipòtesi anterior, el primer que s'ha de conèixer és la relació C/N, ja que és a partir d'aquesta que es sabrà si la producció de biogàs utilitzant purins serà viable. Cal recordar que la relació d'aquests dos elements es considera òptima en un rang de 30:1 fins a 20:1 (Tobergte and Curtis, 2013).

Per el cas dels purins el percentatge de carboni orgànic com el de nitrogen orgànic en la matèria prima és de (taula 4.5.): C= 25% i N= 1,50%. I s'aplicarà la mateixa formula reduïda que a la hipòtesi 1, ja que en aquest cas tampoc hi ha barreja de matèria prima:

$$(2) \ K = \frac{C}{N} = \frac{0,25}{0,015} = 16,67 = 16:1$$

Com es pot veure la relació C/N dels fems no esta a dins dels rang òptim:

$$17:1 < 20:1 - 30:1$$

Per tant es pot considerar que **l'obtenció de biogàs a partir dels purins no és possible**. Una possibilitat per solucionar aquest problema seria buscar un altre substrat que fos ric en carboni per tal de compensar i millorar aquesta relació C/N.

### Hipòtesi 3:

Com a ultima hipòtesi es planteja la utilització d'una **barreja de fems i purins per la producció de biogàs**, per tal d'esbrinar si la combinació de les dos dejeccions aportaria una millor relació C/N, augmentant així la producció de biogàs. Es proposaran diferents proporcions de cada dejecció a fi de trobar l'òptima, les opcions són, taula 7.7:

Taula 7.7. Plantejament hipòtesi 3						
Opcions	Quantitat total produïda (kg/any)		Quantitat utilitzada (kg/any)		Quantitat percentual (%)	
	Fems	Purins	Fems	Purins	Fems	Purins
A 100% fems produït 100% purins produït	391.071	848.568	391.071	848.568	31,55	68,45
B 100% fems produït 75% purins produït			391.071	636.426	38,06	61,94
C 100% fems produït 50% purins produït			391.071	424.284	47,93	52,07
D 100% fems produït 25% purins produït			391.071	212.142	64,83	35,17

#### a) Relació C/N de la barreja

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment la relació d'aquests dos elements es considera òptima quan C/N esta a dins del rang de 30:1 fins a 20:1 (Tobergte and Curtis, 2013). La formula per calcular la relació C/N és la següent:

$$(1) K = \frac{C1 \cdot Q1 + C2 \cdot Q2 + \dots \dots Cn \cdot Qn}{N1 \cdot Q1 + N2 \cdot Q2 + \dots \dots Nn \cdot Qn}$$



$K = C/N$  de la matèria prima.

$C = \%$  de carboni orgànic en cada matèria prima (Tobergte and Curtis, 2013).

$N = \%$  de nitrogen orgànic en cada matèria prima (Tobergte and Curtis, 2013).

$Q =$  Pes de cada matèria, expressat en kilograms o tones.

Els fems i els purins tenen percentatges diferents de carboni orgànic i de nitrogen orgànic en la matèria prima que són de (taula 4.5.): pels fems s'utilitza  $C = 30\%$  i  $N = 1,30\%$ ; i pels purins:  $C = 25\%$  i  $N = 1,50\%$ . Amb aquestes dades ja es pot aplicar la formula per les diferents opcions:

Opció A:

Matèria prima: 31,55% de fems amb un 68,45% de purins:

$$K = \frac{0,3 \cdot 0,3155 + 0,25 \cdot 0,6845}{0,013 \cdot 0,3155 + 0,015 \cdot 0,6845} = 18,50 = 19:1$$

Opció B:

Matèria prima: 38,06% de fems amb un 61,94% de purins:

$$K = \frac{0,3 \cdot 0,3806 + 0,25 \cdot 0,6194}{0,013 \cdot 0,3806 + 0,015 \cdot 0,6194} = 18,89 = 19:1$$

Opció C:

Matèria prima: 47,93% de fems amb un 52,07% de purins:

$$K = \frac{0,3 \cdot 0,4793 + 0,25 \cdot 0,5207}{0,013 \cdot 0,4793 + 0,015 \cdot 0,5207} = 19,51 = 20:1$$

Opció D:

Matèria prima: 64,83% de fems amb un 35,17% de purins:

$$K = \frac{0,3 \cdot 0,6483 + 0,25 \cdot 0,3517}{0,013 \cdot 0,6483 + 0,015 \cdot 0,3517} = 20,61 = 21:1$$

A la taula següent es pot veure un resum de les opcions i quina es podria descartar:

Taula 7.8. Resultats relació C/N hipòtesi 3			
Opcions	Descripció	Relació C/N	Conclusió
<b>A</b>	21,55% fems i 68,45% purins	<b>19: 1</b> < 20: 1 – 30: 1	Rebutjades, relació C/N inferior al valor mínim del rang òptim .
<b>B</b>	38,06% fems i 61,94% purins	<b>19: 1</b> < 20: 1 – 30: 1	
<b>C</b>	47,93% fems i 52,07% purins	<b>20: 1</b> = 20: 1 < 30: 1	Acceptada, però cal tenir en compte que la relació C/N esta al límit del rang òptim i qualsevol variació podria disminuir aquest valor.
<b>D</b>	64,83% fems i 35,17% purins	20: 1 < <b>21: 1</b> < 30: 1	Acceptada

**b) Producció de biogàs:**

Primerament s'ha de conèixer la quantitat total de fems i purins que es destinarà a la producció de biogàs, taula 7.3: 391.071 kg fems/any i 848.568 kg purins/any.

Per tant ja es pot calcular quina producció s'obtindrà a partir d'aquests fems. Per tal de calcular la quantitat generada s'utilitzarà la mateixa formula que a la hipòtesi 1:

$$(3) \text{PG} \left( \frac{l}{dia} \right) = MPC \cdot SO \cdot P$$

PG = Gas produït en litres per dia

MPC = Fems en kilograms per dia

SO = Percentatge de matèria orgànica del fem segons l'espècie

P = Producció aproximada de m<sup>3</sup> gas/ kg de massa orgànica seca total

El valor de “SO” i “P” són diferents per cada una de les matèries primeres, fems i purins. Per fems la SO= 13% i P= 0,25 m<sup>3</sup> gas/ kg SO, ja pels purins SO= 12% i P= 0,35 m<sup>3</sup> gas/ kg SO.

Opció C:

Matèria prima: 64,83% de fems amb un 35,15% de purins:

$$PG\left(\frac{l}{dia}\right) = \left(391.071 \frac{kgfems}{any} \cdot \frac{1any}{365dies} \cdot 0,13 \frac{kgSO}{kgfems} \cdot \frac{0,25m^3gas}{kgSO} \cdot \frac{1000l}{1m^3}\right) +$$

$$+ \left(424.284 \frac{kgpurins}{any} \cdot \frac{1any}{365dies} \cdot 0,12 \frac{kgSO}{kgfems} \cdot \frac{0,35m^3gas}{kgSO} \cdot \frac{1000l}{1m^3}\right)$$

$$PG\left(\frac{l}{dia}\right) = 83.643 \frac{l}{dia} \text{ de biogàs}$$

Opció D:

Matèria prima: 64,83% de fems amb un 35,15% de purins:

$$PG\left(\frac{l}{dia}\right) = \left(391.071 \frac{kgfems}{any} \cdot \frac{1any}{365dies} \cdot 0,13 \frac{kgSO}{kgfems} \cdot \frac{0,25m^3gas}{kgSO} \cdot \frac{1000l}{1m^3}\right) +$$

$$+ \left(212.142 \frac{kgpurins}{any} \cdot \frac{1any}{365dies} \cdot 0,12 \frac{kgSO}{kgfems} \cdot \frac{0,35m^3gas}{kgSO} \cdot \frac{1000l}{1m^3}\right)$$

$$PG\left(\frac{l}{dia}\right) = 59.232 \frac{l}{dia} \text{ de biogàs}$$

#### 7.4.4. Avaluació de les hipòtesis

Per tal de tenir una visió general dels resultats de les hipòtesis estudiades s'ha realitzat la taula 7.9.:

Taula 7.9. Anàlisi d'hipòtesis							
Hipòtesi		Relació C/N  Rang òptim 20:1-30:1		Quantitat de dejeccions destinades a la producció de biogàs (kg/any)		Biogàs produït	
				Fems	Purins	litres/ dia	m <sup>3</sup> / any
<b>A – 100% fems</b>		<b>23:1</b>	✓	<b>391.071</b>	<b>0</b>	<b>34.821</b>	<b>12.710</b>
<b>B – 100% purins</b>		19:1	X	0	848.568	-	-
<b>C</b>  Barreja fems i purins	Opció A: 21,55% fems i 68,45% purins	19:1	X	391.071	848.568	-	-
	Opció B: 38,06% fems i 61,94% purins	19:1	X	391.071	636.426	-	-
	<b>Opció C:</b> 47,93% fems i 52,07% purins	<b>20:1</b>	✓	<b>391.071</b>	<b>424.284</b>	<b>83.643</b>	<b>30.530</b>
	<b>Opció D:</b> 64,83% fems i 35,17% purins	<b>22:1</b>	✓	<b>391.071</b>	<b>212.142</b>	<b>59.232</b>	<b>21.620</b>

A la taula anterior es pot observar que la hipòtesi B i les opcions A i B de la hipòtesi C han sigut descartades al calcular la relació C/N, ja que aquestes no es troben a dins del rang òptim. Això possiblement és degut a que els purins aporten una carga orgànica molt baixa, i per tant poc carboni. En cas de que es volgués solucionar això el què s'hauria de fer seria barrejar-lo amb una matèria prima rica en matèria orgànica.

Pel que fa la **hipòtesi A** i les **opcions C i D de la hipòtesi C**, totes tres presenten una relació C/N a dins del rang òptim, per tant totes dues hipòtesis són viables per la producció de biogàs. Però la diferència més destacable entre aquestes tres possibilitats és la quantitat de biogàs calculat per cada cas: a la hipòtesis A els litres de biogàs produïts són molt inferior a les opcions de la hipòtesis C, tot i que la relació C/N sigui superior. Entre les opcions C i D de la hipòtesis C, l'opció C té una millor relació C/N però una producció de biogàs inferior a l'opció D.

Abans de descartar cap de les dues possibilitats s'hauria de tenir en compte el criteri econòmic, que s'estudiarà al següents apartat.

#### 7.4.5. Estudi cost i viabilitat de la instal·lació

Per estudiar el cost de la instal·lació del sistema de biogàs, en aquest treball s'ha optat per la utilització d'una nova eina d'avaluació de viabilitat de plantes de biogàs online, ja que tot i els intents d'aconseguir pressupostos a diferents empreses no s'han obtingut respostes.

Aquesta eina va néixer del projecte europeu BIOGAS<sup>3</sup>, que ha posat en marxa SmallBIOGAS (Projecte europeu Biogas3, 2015), una eina informàtica online que permet avaluar la viabilitat tècnica, econòmica i ambiental de la instal·lació de plantes de producció de biogàs a petita escala.

Per tal de que el programa pugui realitzar un estudi de cada cas primerament es realitzen una sèrie de preguntes relacionades amb les característiques i condicions

de la planta de biogàs que es vol construir, aquestes preguntes es divideixen en 4 blocs: on es realitzarà, tipus de substrat, usos del biogàs i usos del digestor. En la taula 7.10. hi ha la relació de preguntes realitzada per SmallBIOGAS i les seves respectives respostes per a les hipòtesis acceptades a l'apartat anterior.

Taula 7.10. Dades avaluació SmallBIOGAS					
Blocs de preguntes	Preguntes		Respostes		
			Hipòtesi A	Hipòtesi C	
				Opció C	Opció D
On	Nom		Explotació ramadera		
	País		Espanya		
	Divisió administrativa		Catalunya – Barcelona		
Tipus de substrat	Categoria		Dejeccions boví	(1) Dejeccions boví	
				(2) Dejeccions porcí	
	Subcategoria		Fems compactes	(1) Fems compactes	
				(2) Purí mixt	
	Quantitat de substrat (Tn/any)		391,071	(1) 391,071	(1) 391,071
			(2) 424,284	(2) 212,142	
Usos del biogàs	Digestió anaeròbica		Sistema humit		
	Ús del biogàs		Cogeneració		
	Destí del biogàs		Consum propi		
	Necessitats d'ús	Energia tèrmica	0		
		Energia elèctrica	Mínim 6.390,25 kWh/any ≈ 7.000 kW/h any		
	Temps de funcionament		12 mesos a l'any – 24h al dia		
Usos del digestor	Ús		Consum propi		
	Transport fins la planta		0 km		
			Tant els fems com els purins arribaran mitjançant canonades fins la planta, ja que aquesta es situarà a un nivell inferior al de les granges.		
	Àrea vulnerable		Si		

Un cop s'introdueixen aquestes dades al programa, aquest ofereix un” **Informe de viabilitat**” (Annex 2) que inclou dades sobre: la producció de biogàs, l'energia produïda, el cost d'instal·lació, les característiques del biodigestor, els ingressos, les

despeses i l'anàlisi de la viabilitat mediambiental. Referent la informació donada es centrarà a l'avaluació del cost i de la viabilitat de la instal·lació.

Abans d'enfocar-se la variable econòmica, el primer punt que crida l'atenció és la quantitat de biogàs produïda segons l'informe, ja aquesta dada també s'ha calculat teòricament en aquest treball i difereix molt dels resultats que ofereix el programa SmallBIOGAS. Els recull d'aquestes dades en els dos estudis es pot observar a la continuació, taula 7.11..

Taula 7.11. Comparació producció biogàs (Annex 2)				
Hipòtesis		Quantitat total de residus introduïts al digestor (Tn/any)	Producció de biogàs (m <sup>3</sup> /any)	
			Estudi teòric d'aquest treball	Anàlisi de viabilitat SmallBIOGAS
A		391,071 100% fems	12.710	20.540
C	Opció C	815,355 47,93% fems i 52,07% purins	30.530	9.578
	Opció D	603,213 64,83% fems + 35,17% purins	21.620	22.824

Pel que fa el càlcul teòric de la producció de biogàs d'aquest treball l'observació immediata que es fa és que: a més substrat introduït al digestor més producció de biogàs. Mentre que l'anàlisi realitzada per SmallBIOGAS no hi ha una relació proporcional entre quantitat de substrat i el biogàs produït.

Per tal de comparar els dos estudis, caldria conèixer de quina formula parteix el simulador, malgrat aquest aportí molta informació respecte els seus procediments, aquesta en concret no està disponible. No obstant si que es poden buscar possibles explicacions, partint del coneixement de la formula utilitzada en aquest projecte i en les dades que utilitza el simulador (taula 7.12.).

Taula 7.12. Dades del substrat per cada cas (Annex 2)					
Hipòtesis		Matèria introduïda al digestor (Tn/any)			
		Matèria total	Matèria seca <sup>(1)</sup>	Matèria orgànica seca <sup>(2)</sup>	Matèria orgànica degradada <sup>(3)</sup>
A		391,071	78,21	64,14	28,93
C	Opció C	815,355	93,49	25,56	9,35
	Opció D	603,213	85,85	69,09	32,74

<sup>(1)</sup> Quantitat de material sec en comparació amb el material total del substrat (Of et al., 2016).

<sup>(2)</sup> Quantitat de material orgànic en comparació amb el material sec del substrat (Of et al., 2016).

<sup>(3)</sup> Quantitat de material orgànic que es degrada en la producció de biogàs, en comparació amb el material orgànic inicial del substrat (Of et al., 2016).

Basant-se en les dades de la taula és fàcil d'entendre el motiu pel qual l'opció D de la hipòtesis C és la que més produeix biogàs, ja que és la que presenta més matèria orgànica que es pot degradar seguida de la hipòtesi A i deixant en últim lloc l'opció C de la hipòtesis C. Aquesta relació de: a més matèria degradable, més producció de biogàs, és el que coincideix perfectament amb la relació C/N calculada per avaluar la viabilitat de les hipòtesis com a productores de biogàs, veure taula 7.9.

Per tant, un possible motiu d'aquesta diferència és que, mentre que el factor decisiu per la producció de biogàs en aquest treball és el percentatge de matèria prima (orgànica), el simulador va un punt més enllà tenint en compte la quantitat de matèria orgànica que es degrada en cada cas. Probablement basant-se en la relació carboni-nitrogen, ja que una millor relació d'aquests fa que hi hagi un millor rendiment al digestor, per tant una major producció de biogàs.



El següent comentari a fer és que l'estudi de SmallBIOGAS, en funció de la quantitat de biogàs produït, facilita algunes dades respecte el digestor, on s'han tingut en compte les següents consideracions, taula 7.13:

- a) El **volum d'emmagatzematge** és d'almenys un 25% de la producció diària de biogàs. Tota l'energia disponible a partir del biogàs s'utilitza i satisfà l'autoconsum al 100%.
- b) La **producció d'electricitat** s'obté a partir del metà produït, tenint en compte una potència d'escalfament del metà de 9,95 kWh/Nm<sup>3</sup> i una eficiència elèctrica de cogeneració a petita escala, un 35%.
- c) La **producció d'energia tèrmica** s'obté a partir del metà produït, tenint en compte una potència d'escalfament del metà 9,95 kWh/Nm<sup>3</sup> i una eficiència tèrmica de cogeneració a petita escala, un 50%.
- d) El **coeficient d'eficiència energètica** del sistema de cogeneració és un indicador de l'eficiència d'energia total bruta i es calcula fent el quocient entre l'energia produïda (un cop restades les necessitats del procés) i l'energia continguda en el metà del biogàs.

Taula 7.13. Característiques del digestor i producció d'energia (Annex 2)					
Hipòtesis	Volum digestor (m <sup>3</sup> )*	Volum emmagatzematge gas produït (m <sup>3</sup> )	Producció d'energia elèctrica (kWh/any)	Producció d'energia tèrmica (kWh/any)	Coeficient de rendiment sistema de cogeneració (%)
A	41	14,07	39.090	59.230	41,4
C	Opció C	6,56	18.600	28.180	69,4
	Opció D	15,63	43.630	66.100	41,2

\* No es facilita informació sobre el càlcul del volum del digestor.

## 1. Costos i guanys de la planta de biogàs

La viabilitat econòmica calculada pel programa inclou tres paràmetres, la inversió inicial per la construcció de la planta, els ingressos que aportaria i les despeses que generarien:

- a) **Inversió inicial:** en el cas d'autoconsum, la planta de biogàs inclou la inversió en equips per a l'emmagatzematge del biogàs (gasòmetre, etc.). Aquest equip permet l'emmagatzematge de biogàs per cobrir les diferències entre la demanda d'energia i la producció de biogàs.
- b) **Ingressos:** són derivats de l'energia d'autoconsum, és a dir, l'estalvi d'acord amb el país de l'estudi, abans de ser calculat es descompte les necessitats d'energia tèrmica per al procés (energia consumida en l'escalfament dels digestors). Per al càlcul dels estalvis, els preus de compra de l'electricitat s'han tingut en compte d'acord amb l'escenari de la planta, pel que fa Espanya el valor utilitzat és de 15c€/kWh (Of et al., 2016).
- c) **Despeses:** per aquest càlcul es té en compte "L'operació i manteniment", associats a l'operació, el manteniment de la planta de biogàs i el "personal" que manté la planta de biogàs i per últim el preu del transport, associat amb la càrrega i descàrrega de substrats (Of et al., 2016).

Totes aquestes dades es poden veure a la taula 7.14.:

Taula 7.14. Dades viabilitat econòmica (Annex 2)						
Hipòtesis	Inversió inicial (€)	Estalvis (€/any)		Despeses (€/any)		
		D'energia	D'energia digestor	Manteniment	Personal	Transport
A	37.076,52	1.875	370,28	449,06	302,69	782,14

C	Opció C	22.801,55	1.875	822,54	539,51	631,08	1.630,71
	Opció D	41.603,66	1.875	582,87	491,57	466,89	1.206,43

## 2. Viabilitat de la instal·lació

Segons les dades introduïdes referents a les característiques de l'explotació ramadera, SmallBIOGAS calcula el preu total per a cada cas, taula 7.15, i per tal d'analitzar la viabilitat econòmica del projecte té en compte els següents factors (Of et al., 2016):

- a) Benefici brut d'explotació o guanys abans d'interessos, impostos, depreciació i amortització (EBITDA): Correspon a la diferència entre els ingressos i despeses anuals; és a dir, el flux de caixa.
- b) El valor actual net (NPV): Valor de la caixa esperada en el curs de la vida del projecte (n) i actualitzat en el moment de l'inici del projecte, amb un coeficient d'actualització (t). Un valor amb signe positiu del NPV implica que el projecte genera valor.

$$(4) \text{ NPV} = -\text{Investiment} + \sum_{i=1}^n \frac{\text{Flux de caixa}}{(1+t)^n}$$

- c) Índex de Riquesa (NPV / inversió inicial) o índex de rendibilitat (PI): Es calcula com la relació entre el NPV i la inversió inicial. Si aquest valor és més gran que zero, serà indicativa de la rendibilitat de la inversió per a la vida útil del projecte.
- d) Taxa interna de retorn (IRR): Aquest és el tipus de descompte amb el qual el NPV és igual a zero. S'utilitza per decidir si accepta o no un projecte d'inversió.

- e) **Període de recuperació o període de retorn (RP):** Aquesta és la quantitat de temps necessari per recuperar la inversió inicial. Es calcula com el quocient entre el desemborsament inicial i l'EBITDA.

Quan l'EBITDA té un valor amb signe negatiu o el temps de recuperació és més llarga que la vida del projecte, no existeix un valor de "període de retorn" i s'avisarà a l'usuari, indicant "> 15 anys" o un altre valor utilitzat com a temps de vida de el projecte d'inversió. En aquest últim cas, la inversió no seria recuperada abans que la vida útil del projecte arribi a la seva fi.

$$(5) \quad RP = \frac{E + D}{EBITDA} \quad \left\{ \begin{array}{l} E = \text{Equitat} \\ D = \text{Deute o préstec} \end{array} \right.$$

Taula 7.15. Factors viabilitat de la instal·lació (Annex 2)						
Hipòtesis		EBITDA (€/any)	NPV (€)	PI	IRR (%)	RP (anys)
A		711,39	-30.123,29	-0,813	-	>15
C	Opció C	-103,76	-23.815,74	-1,045	-	>15
	Opció D	292,98	-38.740,02	-0,931	-	>15

Com a conclusió :

- Pel que fa el flux de caixa, en el cas de l'opció C de la hipòtesi D, aquesta és negativa, per tant ja es pot descartar.
- Tan el valor de caixa com el índex de rendibilitat són negatius, motiu pel qual cap de les hipòtesis serien viables, ja que tal com s'ha comentat anteriorment això significa que no és rendible per la vida útil del projecte.
- Per últim comentar que el període de recuperació que es facilita el programa és de >15 anys, això realment vol dir que no existeix un valor de període de retorn, es considera que la inversió no es recuperaria abans de que s'acabés la vida útil del projecte.

### 3. Beneficis mediambientals

En un últim apartat del informe de SmallBIOGAS comenta alguns punts mediambientals que es veuen afavorits per la producció de biogàs, taula 7.16..

- a) L'energia primària s'obté a partir de la recuperació del biogàs, és l'energia renovable a partir del biogàs recuperat en forma de calor. No s'inclou en aquesta energia primària l'energia utilitzada per a la calefacció dels digestors.
- b) Els estalvis d'emissions de CO<sub>2</sub> es calcula a partir de l'energia primària obtinguda i un factor d'estalvi d'emissions, de 278 g de CO<sub>2</sub>/kWh.

Taula 7.16. Factors ambientals de la instal·lació (Annex 2)			
Hipòtesis		Energia primària obtinguda (MWh/any)	Emissions de CO <sub>2</sub> (t/any)
A		53,92	14,99
C	Opció C	43,01	11,96
	Opció D	59,82	16,63

### 4. Solució a la viabilitat de l'explotació ramadera

Com ja s'ha vist a l'apartat anterior l'explotació ramadera de Vila-Roger no té una producció de dejeccions animals suficients com per que sigui viable la implantació d'una planta de biogàs. Per tal d'esbrinar quina quantitat de dejeccions serien necessàries per poder produir biogàs (deixant de banda per un moment la qüestió d'emissions de nitrogen al sòl), s'ha tornat a utilitzar el simulador SmallBIOGAS.

El que s'ha pogut veure és que la viabilitat no depèn tan sols de la quantitat de dejeccions, sinó que és pràcticament inviable realitzar un projecte com aquest

sense una inversió inicial d'almenys un 50%, ja sigui un subsidi del govern o un inversor del projecte, qüestió que deixa al marge qualsevol petita granja que vulgui aplicar aquest sistema.

Per una altra banda el que fa que sigui més rendible, i no s'ha tingut en compte anteriorment, és la venda de l'energia, tant elèctrica com tèrmica, sobrant de la instal·lació, disminuint així els anys d'amortització del projecte. Tot i així aplicant una inversió inicial i la venda de l'excedent d'energia produït els casos anteriors segueixen descartats.

En la taula 7.17. es pot veure algunes propostes per conèixer quins factors aconseguirien una planta viable. Es basarà en la hipòtesis 3, l'opció C, (aproximadament un 65% de fems i un 35% de purins) degut a que és la hipòtesi estudiada que més biogàs genera, i a més a més per tots els casos es considerarà que l'energia excedent es ven.

Taula 7.17. Viabilitat de la instal·lació						
Condicions		Resultats				
Matèria prima (kg/any)	Investiment/ subsidi (€)	EBITDA (€/any)	NPV (€)	PI	IRR (%)	RP (anys)
4 vegades més que el valor actual:  1.564.284kg de fems i 3.394.272kg de purins	35	5.224,57	-39.891,56	0,439	-7,28	>15
	50	-253,91	-72.448,71	-1,035	-	>15
5 vegades més que el valor actual:  1.955.355kg fems i 4.242.840kg de purins	35	6.530,71	-46.987,58	-0,424	-6,99	>15
	50	6.530,71	-21.413,87	-0,251	-3,88	13,05

4 vegades més que el valor actual:	35	7.836,86	-53.687,84	-0,412	-6,76	>15
2.346.426kg de fems i 5.091.408kg de purins	50	7.836,86	-23.621,82	-0,236	-3,63	12,79

Com es pot observar a la taula tot i augmentant la quantitat de matèria primera utilitzada, aplicant una inversió inicial i venent l'energia excedent, les propostes segueixen sense ser viables. Tot i que algunes presenten un temps d'amortització millor que al de les hipòtesi estudiades. Per últim, es pot concloure que les característiques de l'explotació ramadera no són viables en cap de les situacions plantejades.





## 7. Conclusions

El primer objectiu del projecte era conèixer la situació actual del sistema de producció dels dos biocombustibles estudiats; el biogàs i el biohidrogen. Per una banda s'ha comprovat que la producció de biogàs com a sistema està molt desenvolupat i existeix una gran varietat de reactors per a la seva producció. No obstant, tot i que Espanya ocupi un dels primers llocs en la UE pel que fa a la quantitat d'explotacions ramaderes, el numero de plantes existents és molt baix en comparació a altres llocs d'Europa, com per exemple Alemanya.

Per l'altre banda, la investigació referent a la producció de biohidrogen encara està al seu inici. Existeixen molts estudis a escala de laboratori referent a la seva utilització a partir de residus alimentaris, però pel que fa la recerca utilitzant dejeccions animals existeix molt poca informació. A més a més la falta de homogeneïtzació de les dades referents al seu rendiment dificulta la comparació entre estudis.

El segon objectiu era plantejar un cas real de producció de biogàs en l'explotació ramadera de Vila-Roger. En aquest cas s'han plantejat diferents hipòtesis per estudiar quina matèria prima seria l'opció més idònia, només fems, només purins o bé una barreja dels dos, seguit de una avaluació de la viabilitat de l'aplicació de la planta. Els resultats van ser els següents:

- La relació carboni/nitrogen dels purins sols és inferior a la relació òptima C/N per la producció de biogàs sent de 19:1, mentre que la relació dels fems està dins dels límits de la relació òptima, 23:1, degut a que el fems tenen un elevat contingut de palla.

Al realitzar la barreja de les dues dejeccions (fems i purins) a major quantitat de purins que fems la relació tendeix a està fora del rang òptim de C/N, fins a trobar una estabilitat òptima comptabilitzant un 65% de fems i un 35% de purins, aconseguint una relació de 22:1.

- Pel què fa la generació de biogàs per cada cas (relació C/N a dins del rang), s'ha vist que a major quantitat de matèria primera més producció de biogàs. Per exemple: en la hipòtesis A la quantitat total de matèria primera és d'aproximadament 391Tn i produeix 12.710 m<sup>3</sup>/any de biogàs, mentre que a la hipòtesi C, a l'opció C, a l'augmentar aquest valor a aproximadament 815Tn, tot i tenint una relació C/N inferior, es genera una quantitat superior de biogàs, 30.530 m<sup>3</sup>/any.

Comparant aquests resultats amb els extrems del simulador de viabilitat de plantes de biogàs, SmallBIOGAS, s'ha vist que en aquest estudi la quantitat de biogàs generat per a cada cas està relacionada amb la relació C/N, per una mateixa quantitat de matèria orgànica. L'opció C de la hipòtesi C és la que té una relació C/N més baixa (20:1) i és la que produeix menys biogàs segons el simulador, 9.578 m<sup>3</sup>/any, ja a la hipòtesis A amb una relació C/N superior (23:1) la producció és de 20.540 m<sup>3</sup>/any.

Això és degut, probablement, a que en el cas de l'estimació calculada en aquest treball, es té en compte el percentatge de matèria orgànica que conté cada substrat, no obstant el simulador a més d'això té en compte la quantitat de matèria orgànica que es degrada i per tant doni com a resultat un valor més precís. Tot i així el simulador no dóna accés a aquesta fórmula, motiu pel qual no es pot estar 100% segur de que la diferència vingui donada per aquest motiu.

- El biogàs generat seria més que suficient per abastir les granges en tots els casos, ja que la necessitat de les granges és d'aproximadament 8.000 kWh/any d'energia elèctrica i totes les hipòtesis amb una relació C/N a dins del rang òptim genera una quantitat superior de biogàs, tant en els càlculs realitzats com al simulador. Fins i tot es podria avaluar la possibilitat d'utilitzar aquesta energia per cobrir les necessitats de la casa amb l'excedent que queda un cop utilitzat a les granges.

- La inversió inicial és molt elevada, l'amortització del projecte seria més llarga que la vida útil del projecte, fent que aquest projecte no sigui viable. La quantitat de bestiar hauria de ser molt superior a l'actual per tal que fos viable la instal·lació.
- Osona és una de les comarques amb més granges de Catalunya, degut a això una possible solució per poder instal·lar una planta de biogàs seria l'acord entre diverses granges de la zona, produint així biogàs per a tots.



## 8. Referències

- Asociación de Productores de Energías Renovables, 2011. Inventario de Plantas de Biomasa, Biogás y Pellests. Inventar. Plantas 1–69.
- Biogás, M. del, 2010. El Sector Del Biogás Agroindustrial En España. Minist. Medio Ambient. y Medio Rural y Mar. Dirección .
- Cantrell, K.B., Ducey, T., Ro, K.S., Hunt, P.G., 2008. Livestock waste-to-bioenergy generation opportunities. *Bioresour. Technol.* 99, 7941–7953. doi:10.1016/j.biortech.2008.02.061
- DOGC, 2009. DR 136/2009\_Zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats que procedeixen de fonts agràries i de gestió de les dejeccions ramaderes 65858–65902.
- Duarte, E., 2011. Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Planificación del sistema de abrevadero. *Rev. Plan Agropecu.* 140, 38– 43.
- EBA - European Biogas Association, 2016. Biogas - European Biogas Association [WWW Document]. URL <http://european-biogas.eu/biogas/> (accessed 9.22.16).
- EEA, 2009. Residuos y recursos materiales. Agencia Eur. Medio Ambient. - EPUB 5–7.
- Escuelas, O., 2004. El hidrógeno combustible, metodos de obtención y aplicación a la generacion eléctrica 10.
- Fan, Y., Li, C., Lay, J.J., Hou, H., Zhang, G., 2004. Optimization of initial substrate and pH levels for germination of sporing hydrogen-producing anaerobes in cow dung compost. *Bioresour. Technol.* 91, 189–193. doi:10.1016/S0960-8524(03)00175-5
- Futur agrari, 2012. Análisis De Situación Medioambiental En La Producción Porcina 1–67.
- Gómez, A., Zubizarreta, J., Rodrigues, M., Dopazo, C., Fueyo, N., 2010. Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain. *Renew. Energy* 35, 498–505. doi:10.1016/j.renene.2009.07.027
- Granja San Ramón, 2016. Grupo San Ramón [WWW Document]. URL <http://www.gruposanramon.es/biocombustible/> (accessed 9.24.16).
- Hawkes, F.R., Dinsdale, R., Hawkes, D.L., Hussy, I., 2002. Sustainable fermentative hydrogen production: Challenges for process optimisation. *Int. J. Hydrogen Energy* 27, 1339–1347. doi:10.1016/S0360-3199(02)00090-3
- Holm-nielsen, J.B., Seadi, T. Al, Oleskowicz-popiel, P., 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresour. Technol.* 100, 5478–5484. doi:10.1016/j.biortech.2008.12.046
- Iberia Engineering, 2014. Purines : Tecnologías y Estrategias de Gestión. Iberia Gr.
- Iglesias, L., 1995. El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente. Minist. Agric. Pesca y Aliment. 1–24.

- INE, 2009. Censo Agrario 2009 [WWW Document]. URL c (accessed 9.18.16).
- Kothari, R., Singh, D.P., Tyagi, V. V., Tyagi, S.K., 2012. Fermentative hydrogen production - An alternative clean energy source. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 2337–2346. doi:10.1016/j.rser.2012.01.002
- Levin, D.B., Pitt, L., Love, M., 2004. Biohydrogen production: Prospects and limitations to practical application. *Int. J. Hydrogen Energy* 29, 173–185. doi:10.1016/S0360-3199(03)00094-6
- Lopez-brea, F.F., 1996. Empleo del agua en porcino.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G., 2015. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 45, 540–555. doi:10.1016/j.rser.2015.02.032
- Marañón, E., Salter, A.M., Castrillón, L., Heaven, S., Fernández-Nava, Y., 2011. Reducing the environmental impact of methane emissions from dairy farms by anaerobic digestion of cattle waste. *Waste Manag.* 31, 1745–1751. doi:10.1016/j.wasman.2011.03.015
- Nixon, S.C., Lallana, C., Boschet, a F., 2000. ¿ Es sostenible el uso del agua en Europa ? Agencia Eur. Medio Ambient. - EPUB 1–36.
- Of, D., Project, T.H.E., Intelligent, P., Europe, E., Key, A., lee, G.A., Telephone, C., Bego, E.W., 2016. Usage guide to use the software and interpret the results.
- Pantaleo, A., Gennaro, B. De, Shah, N., 2013. Assessment of optimal size of anaerobic co-digestion plants: An application to cattle farms in the province of Bari (Italy). *Renew. Sustain. Energy Rev.* 20, 57–70. doi:10.1016/j.rser.2012.11.068
- Pozuelo, E.C., Civit, J.P., Ripoll, X.F., Illa, J., Magrí, A., 2004. Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas 34–39.
- Proyecto europeo Biogas3, 2015. SmallBiogas [WWW Document]. URL <http://smallbiogas.biogas3.eu/Info.aspx> (accessed 10.2.16).
- Salomon, K.R., Silva Lora, E.E., 2009. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and Bioenergy* 33, 1101–1107. doi:10.1016/j.biombioe.2009.03.001
- SOMenergia, 2015. Ficha técnica Planta de Biogás Torregrossa.
- Tauseef, S.M., Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, S.A., 2013. Methane capture from livestock manure. *J. Environ. Manage.* 117, 187–207. doi:10.1016/j.jenvman.2012.12.022
- Tobergte, D.R., Curtis, S., 2013. Manual de Biogás.
- Wu, X., Yao, W., Zhu, J., 2010. Effect of pH on continuous biohydrogen production from liquid swine manure with glucose supplement using an anaerobic sequencing batch reactor. *Int. J. Hydrogen Energy* 35, 6592–6599. doi:10.1016/j.ijhydene.2010.03.097
- Wu, X., Zhu, J., Dong, C., Miller, C., Li, Y., Wang, L., Yao, W., 2009. Continuous biohydrogen

production from liquid swine manure supplemented with glucose using an anaerobic sequencing batch reactor. *Int. J. Hydrogen Energy* 34, 6636–6645.  
doi:10.1016/j.ijhydene.2009.06.058

Zhu, J., Li, Y., Wu, X., Miller, C., Chen, P., Ruan, R., 2009. Swine manure fermentation for hydrogen production. *Bioresour. Technol.* 100, 5472–5477.  
doi:10.1016/j.biortech.2008.11.045

